



Hodnocení rozdílů barev – vliv geometrie měření

Diplomová práce

Studijní program: N3957 Průmyslové inženýrství
Studijní obor: Produktové inženýrství
Autor práce: **Bc. Martina Kubečková**
Vedoucí práce: prof. Ing. Michal Vik, Ph.D.
Katedra materiálového inženýrství
Konzultant práce: doc. Ing. Martina Víková, Ph.D.
Katedra materiálového inženýrství

Zadání diplomové práce

Hodnocení rozdílů barev – vliv geometrie měření

<i>Jméno a příjmení:</i>	Bc. Martina Kubečková
<i>Osobní číslo:</i>	T17000281
<i>Studijní program:</i>	N3957 Průmyslové inženýrství
<i>Studijní obor:</i>	Produktové inženýrství
<i>Zadávající katedra:</i>	Katedra hodnocení textilií
<i>Akademický rok:</i>	2019/2020

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte přehled dosavadních poznatků v oblasti v oblasti kolorimetrie a hodnocení rozdílů barev se zřetelem na vliv geometrického uspořádání zdroje světla a receptoru.
2. Provedte studii vlivu standardních měřících geometrií spektrofotometrů na výsledné kolorimetrické souřadnice u sady vybraných vzorků.
3. Provedte studii vlivu geometrie osvětlování u systému obrazové analýzy LCAM Imager na sadě vybraných vzorků a porovnejte výsledky s hodnocením provedeným pomocí spektrofotometrů.
4. Na základě výše uvedených studií navrhnete úpravu nastavení rovnice pro výpočty rozdílů barev AUDI2000 a CIE2000.
5. Navrhnete další postup.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy: 50 – 60 normostran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: Čeština

Seznam odborné literatury:

1. Thorne, A., Litzén, U., Johansson, S. : Spectrophysics, Springer Berlin 1999
2. McDonald, R.: Colour Physics in Industry, SDC 1997
3. Nassau, K. : Color for Science, Art and Technology, Elsevier, 1998
4. Časopisy : Col. Res. Appl., Die Farbe, Tex. Chem. Col., J. Soc. D. Col., Light and Measurement, atd.

Vedoucí práce: prof. Ing. Michal Vík, Ph.D.
Katedra materiálového inženýrství

Konzultant práce: doc. Ing. Martina Víková, Ph.D.
Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání práce: 29. října 2019

Předpokládaný termín odevzdání: 10. srpna 2020

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

L.S.
doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
vedoucí katedry



Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

27. července 2020

Bc. Martina Kubečková



Poděkování

Na tomto místě bych velmi ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Michalu Vikovi, Ph.D. a konzultantovi doc. Ing. Martině Vikové, Ph.D. za cenné rady a připomínky, jejich přístup při vedení mé diplomové práce, ochotu a trpělivost.

Velké poděkování patří mé rodině, za trpělivost a podporu.



Abstrakt

Tato práce řeší hodnocení rozdílů barev a vliv geometrie měření na barevné rozdíly. Cílem práce je i ověření účinnosti diferenční rovnice AUDI2000 pro textilní materiály. Vyhodnocení probíhalo na základě měření spektrofotometry a obrazovou analýzou. Získané kolorimetrické hodnoty z těchto měření byly použity k analýze diferenční rovnice AUDI2000, která byla následně ověřena pomocí normované rovnice CIE2000. K experimentu bylo použito 27 vzorků různých materiálů a strukturních povrchů. Výsledky ukazují, že míru vlivu geometrie měření na výsledné barevné rozdíly, zásadně ovlivňují charakteristiky měřených materiálů. Výsledky ověření diferenční rovnice AUDI2000 ukazují na vhodnost jejího použití pro textilní materiály. Podle získaných výsledků má význam se testováním diferenční rovnice AUDI2000 pro použití u textilních materiálů hlouběji zabývat, a proto jsou i v závěru konkrétní doporučení pro další postup důkladnějšího testování diferenční rovnice AUDI2000.

Klíčová slova – hodnocení barevných rozdílů, rovnice pro hodnocení barevných rozdílů AUDI2000, geometrie měření, obousměrná distribuční funkce, odraz světla u tkaných textilií, odraz světla u automobilových nátěrů

Abstract

This work solves the evaluation of color differences and influence of measurement geometry on color differences. Additionally, the work aimed to verify the effectiveness of the differential equation AUDI2000 for textile materials. The evaluation was performed on the basis of spectrophotometer measurements and image analysis. The colorimetric values obtained from these measurements were used to analyze the effectiveness of the differential equation AUDI2000. Sequentially, the equation was verified based on the standardized equation CIE2000. 27 samples of different materials and structural surfaces were used for the experiment. The results show that the degree of influence of the measurement geometry on the resulting color differences is fundamentally affected by the characteristics of the measured materials. The results of the verification of the differential equation AUDI2000 show the suitability of its use for textile materials. According to the obtained results, it is essential to deal more deeply with the testing of the differential equation AUDI2000 for use in textile materials, and therefore, in the end of this work, there are specific recommendations for the further procedure of more thorough testing of the differential equation AUDI2000.

Keywords - evaluation of color differences, equation for evaluation of color differences AUDI2000, measurement geometry, bidirectional distribution function, light reflection in woven fabrics, light reflection in automotive coatings



Obsah

1	ÚVOD	10
2	CHARAKTERISTIKA BAREV	12
2.1	ACHROMATICKÉ BARVY.....	12
2.2	CHROMATICKÉ BARVY	12
2.3	DEFINOVÁNÍ BAREV	14
2.3.1	<i>Vizuální popis barvy</i>	14
2.3.2	<i>Objektivní (numerický) popis barvy</i>	14
2.4	CIE KOLORIMETRICKÉ SOUSTAVY.....	18
2.4.1	<i>Kolorimetrická soustava XYZ</i>	18
2.4.2	<i>Soustava CIELAB</i>	21
2.4.3	<i>Systém CIE LCH</i>	23
3	HODNOCENÍ BAREVNÝCH ROZDÍLŮ	25
3.1	VIZUÁLNÍ POSUDKY	25
3.2	PŘÍSTROJOVÁ MĚŘENÍ.....	25
3.2.1	<i>Metodiky měření</i>	26
3.3	BAREVNÉ DIFERENCE A BAREVNÉ TOLERANCE	27
3.3.1	<i>Tolerance v kolorimetrickém prostoru CIELAB</i>	28
3.3.2	<i>Tolerance v kolorimetrickém prostoru CIELCH</i>	29
3.4	VÝPOČTY BAREVNÝCH DIFERENCÍ POMOCÍ ROVNIC	29
3.4.1	<i>Rovnice pro výpočty barevných diferencí CMC (l:c)</i>	29
3.4.2	<i>Rovnice pro výpočet barevných diferencí CIE2000</i>	31
3.4.3	<i>Rovnice pro výpočty malých barevných diferencí AUDI 2000</i>	33
4	ZPŮSOBY ROZPTYLU SVĚTLA U VÍCEVRSTVÝCH MATERIÁLŮ	35
4.1	OBOUSMĚRNÉ DISTRIBUČNÍ FUNKCE.....	35
4.1.1	<i>BRDF – odraz</i>	35
4.1.2	<i>BTDF – lom / propustnost</i>	37
4.1.3	<i>BSDF – rozptyl / pohlcení</i>	37
4.1.4	<i>BSSRDF – odraz pod povrchem</i>	37
4.2	ODRAZ SVĚTLA U AUTOMOBILOVÝCH NÁTĚRŮ	37
4.3	ODRAZ SVĚTLA U TKANÝCH TEXTILÍ.....	40
5	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	42
5.1	POUŽITÉ VZORKY KE ZPRACOVÁNÍ EXPERIMENTU	42
5.1.1	<i>Lesk vzorků</i>	44
6	VLIV STANDARDNÍCH MĚŘÍCÍCH GEOMETRIÍ NA VÝSLEDNÉ KOLORIMETRICKÉ SOUŘADNICE	46
6.1	POSTUP ZPRACOVÁNÍ	46
6.2	VÝSLEDKY MĚŘENÍ SPEKTROFOTOMETRY.....	46
7	VLIV GEOMETRIE OSVĚTLOVÁNÍ OBRAZOVOU ANALÝZOU A JEHO POROVNÁNÍ S TESTOVANÝMI SPEKTROFOTOMETRY	50



7.1	POSTUP ZPRACOVÁNÍ	50
7.2	VLIV GEOMETRIE OSVĚTLOVÁNÍ PŘI NATÁČENÍ VZORKU VE VERTIKÁLNÍ OSE.....	51
7.2.1	<i>Výsledky měření při otáčení vzorků kolem vertikální osy</i>	<i>52</i>
7.3	VLIV GEOMETRIE OSVĚTLOVÁNÍ PŘI NATÁČENÍ VZORKU VE DVOU OSÁCH, VERTIKÁLNÍ A HORIZONTÁLNÍ.....	55
7.3.1	<i>Výsledky vlivu změny geometrie osvětlování při otáčení vzorku v ose vertikální, v různých stupních naklonění osy horizontální.....</i>	<i>56</i>
7.3.2	<i>Výsledky vlivu změny geometrie osvětlování na kolorimetrické souřadnice L^*, a^*, b^*, při natáčení vzorku v horizontální ose.....</i>	<i>58</i>
7.4	SROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH KOLORIMETRICKÝCH HODNOT L^*, a^*, b^* SPEKTROFOTOMETRY A OBRAZOVOU ANALÝZOU	62
8	NÁVRH NA ÚPRAVU ROVNIC PRO VÝPOČTY ROZDÍLŮ BAREV AUDI2000 A CIE2000	65
8.1	VYŠETŘOVÁNÍ BARVOCITU POMOCÍ FARNSWORTH-MUNSELL 100 HUE TESTU (FM 100 TEST)	65
8.2	VIZUÁLNÍ HODNOCENÍ VZORKŮ	68
8.3	VÝSLEDKY HODNOCENÍ A NÁVRH NA ÚPRAVU ROVNIC PRO VÝPOČTY ROZDÍLŮ BAREV AUDI2000 A CIE2000.....	69
8.3.1	<i>Výsledky hodnocení a návrh nastavení koeficientů k_L, k_C, k_H diferenčních rovnic</i>	<i>70</i>
8.3.2	<i>Výsledky hodnocení návrhu nastavení váhových funkcí S_L, S_C, S_H diferenčních rovnic</i>	<i>75</i>
9	ZÁVĚR.....	78
10	SEZNAM LITERATURY A ZDROJŮ	80
11	SEZNAM TABULEK	83
12	SEZNAM OBRÁZKŮ	85
13	SEZNAM PŘÍLOH.....	88



Seznam zkratek

CIE	Mezinárodní komise osvětlování
CIELAB	Kolorimetrická soustava CIE L*a*b*
CIELCH	Kolorimetrická soustava CIE L' C' H'
cm	Centimetr
CV	Koeficient variability
dE (ΔE)	Měřená barevná odchylka
dV (ΔV)	Vizuálně vnímaná barevná odchylka
F	Clonové číslo
GU	Jednotka lesku
ISO	Mezinárodní standardizační organizace
K	Kelvin
ks	Počet kusů
LCAM	Laboratoř měření barevnosti a vzhledu
lux	Jednotka osvětlení
mm	Milimetr
nm	Nanometr
r	korelační koeficient
s	Sekunda
STRESS	STRESS faktor
TES	Chybové skóre
xyz	Tristimulární souřadnice
XYZ	Tristimulární složky
xyZ	CIE kolorimetrická soustava Y
θ	Změna úhlu v ose horizontální
Φ	Změna úhlu v ose vertikální

1 Úvod

Barva je vlastnost, která může přímo ovlivňovat funkčnost objektu. Jako příklad lze uvést vojenskou uniformu, u které je nutné, aby mimo jiné svým vybarvením plnila také funkci kamuflážní. U jiných produktů mohou být naopak požadavky na co největší viditelnost, například u výstražných vest. Toto jsou příklady, kdy může barva objektu dokonce zachránit lidské životy. Je prokázáno, že barvy mohou ovlivňovat také lidskou psychiku, toho se využívá kupříkladu při návrzích interiérů. Pokud opomeneme ekosystém, obvykle mívá barva objektu účel estetický. To se může jevit jako triviální, ale z ekonomického hlediska se jedná o velmi důležitou vlastnost produktu. V mnoha průmyslových odvětvích má vzhled produktu zásadní vliv na jeho prodejnost. Jako příklad lze uvést textilní a oděvní průmysl, automobilový průmysl, spotřební průmysl. Dejme tomu pánská košile vyráběná sériovou výrobou. Každý z dílů je vyřezáván z balíku textilní nálože najednou po větším množství kusů. Na jeden košilový díl může být zpracována celá role textilního materiálu. Na jeden model tak může být spotřebováno několik rolí textilního materiálu. Jelikož se v takovém případě jedná o velké množství materiálu, může dojít v průběhu barvení k nestejnomyšlnosti a vybarvení nebude zcela jednotné. Některý z dílů pak může vykazovat viditelnou barevnou odchylku. Takovým chybám je třeba včas zamezit a předejít tak ekonomickým ztrátám, které mohou být značné. Jeden ze způsobů, jak předcházet viditelným barevným nestejnomyšlnostem je využití rovnic pro výpočet barevného rozdílu, což je způsob, jakým lze barevnou odchylku posoudit objektivně. V této práci, bude právě jedna z rovnic pro výpočet barevných rozdílů ověřována, pro použití v textilním průmyslu.

Cílem práce je hodnocení vlivu geometrie měření na rozdíly barev, ověření účinnosti rovnice pro výpočty malých barevných rozdílů AUDI2000 a návrh úpravy nastavení této rovnice. Diferenční rovnice AUDI2000 je vyvinuta primárně pro použití v automobilovém odvětví, kde je při jejím použití dosahováno velmi dobrých výsledků. Vzhledem k možnostem nastavení parametrických koeficientů a váhových funkcí rovnice, lze předpokládat vhodnost použití rovnice též v textilním průmyslu. Pro porovnání výsledků ověřované rovnice, byla vybrána normovaná rovnice pro výpočty malých barevných diferencí CIE2000, která též umožňuje nastavení váhových funkcí a parametrických koeficientů.

Ověření výše zmíněného vzorce, bude předcházet několik na sebe navazujících kroků, které mají vést k přesnější charakteristice testovaných vzorků a ověření vhodnosti vzorků k testování diferenční rovnice AUDI2000. Testování bude vždy prováděno na shodných třech sadách vzorků. První sada obsahuje textilní vzorky různých barev a vzorů, druhá sada obsahuje vzorky různých barevných nánosů na kartonovém podkladu různých drsností a struktur, třetí sada obsahuje vzorky různých barevných nánosů na kartonovém podkladu jemného homogenního povrchu.

Prvním krokem experimentální části bude studie vlivu standardních měřících geometrií spektrofotometrů. Měření bude prováděno třemi druhy měřících geometrií, konkrétně při měření



celkového a poměrného činitele spektrálního odrazu při difúzním osvětlení, dále při úhlovém osvětlení ve 45° a snímání v 0° . Výsledné hodnoty kolorimetrických souřadnic budou hodnoceny v kolorimetrickém prostoru CIELAB.

Následujícím krokem bude hodnocení vlivu geometrie osvětlování prostřednictvím obrazové analýzy, které má vést k ověření vhodnosti testovaných vzorků pro použití k ověření účinnosti diferenční rovnice AUDI2000. Vzorky budou měřeny při změně geometrie měření ve dvou osách, a to v ose vertikální a ose horizontální.

Dalším krokem bude porovnání výsledků získaných pomocí obrazové analýzy s výsledky získanými z měření spektrofotometry v kolorimetrickém prostoru CIELAB. Tato část pomůže určit odlišnost mezi použitými měřicími technikami, což je určující při volbě prostředku pro měření barevnosti.

Následným krokem bude provedení vizuálního hodnocení vzorků několika respondenty. Výsledky vizuálního hodnocení budou použity pro hodnocení s výsledky naměřenými obrazovou analýzou. Na základě výsledků vizuálního a objektivního měření bude navrhována úprava pro nastavení rovnic pro výpočty malých barevných diferencí AUDI2000 a CIE2000. Na základě výsledků dosažených pomocí zmíněných rovnic v kolorimetrickém prostoru CIELCH bude zhodnoceno, zda je diferenční rovnice AUDI2000 vhodná pro použití v textilním průmyslu.

2 Charakteristika barev

Vjem barevného vidění je zapříčiněn reakcí zrakového systému na vlnovou délku světelných paprsků vysílaných, nebo odražených předměty. Barvu tedy nemají předměty samotné, ale je navozena vnímáním jednotlivce. Toto vnímání je zapříčiněno působením tří druhů čípků citlivých na různé vlnové délky a výsledný zrakový vjem ovlivňuje mimo jiné i stav pozorovatele, jako je nálada, únava, věk a stav smyslových orgánů. [1, 2]

2.1 Achromatické barvy

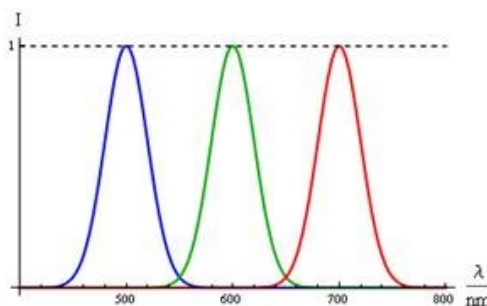
Spektrální složení achromatických barev vystihuje isoenergetická přímka, která je rovnoběžná s osou vlnových délek a jednotlivé barvy se od sebe liší pouze celkovou energetickou úrovní. Achromatické barvy jsou bílá, šedá a černá. [3]

2.2 Chromatické barvy

Podle spektrálního složení jsou dva druhy chromatických barev: jednoduché a složené barvy. Jednoduché chromatické barvy jsou tzv. monochromatické barvy, ty jsou vyvolány zářením jedné vlnové délky. Složené chromatické barvy jsou charakterizovány spektrálním průběhem přes více vlnových délek. Chromatická barva je charakterizována barevným tónem, čistotou a jasem. [3]

Barevný tón (odstín)

Barevný tón určuje vlnová délka světla, která má ve spektrálním složení tónu největší zastoupení (viz Obrázek 1). Pokud je barva složená, oko ji vnímá jako jednotný světelný impuls např. jako barvu červenou, modrou atd. Barevný tón není závislý na sytosti ani jasu.

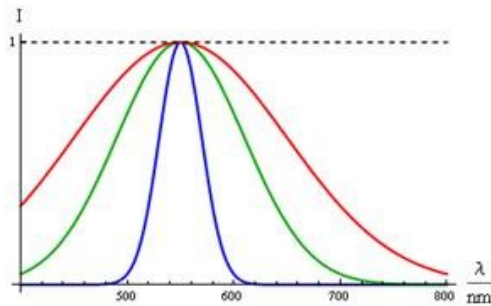


Obrázek 1. Závislost intenzity daného světla na vlnové délce pro tři různé tóny barev stejných sytostí a stejného jasu (barvy křivek neodpovídají barvám světla). [4]

Čistota (sytost)

Uvádí relativní podíl intenzity světla v dané oblasti spektra ve srovnání s celkovou intenzitou. Nejvyšší čistoty dosahují spektrální monochromatické barvy. Čistota se vyjadřuje v %, nejvyšší čistota = 100 %. [3]

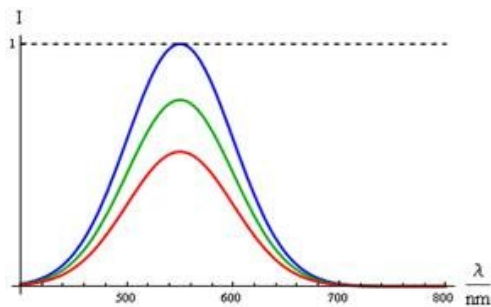
Barvy složené z více světél mají nízkou sytost a v grafickém znázornění širší křivku (viz Obrázek 2). Barvy vysoké sytosti jsou tvořeny menším množstvím světél a čím je barva sytější, tím užší má křivku znázornění. [4]



Obrázek 2. Znázornění tří možností sytosti jedné barvy. [4]

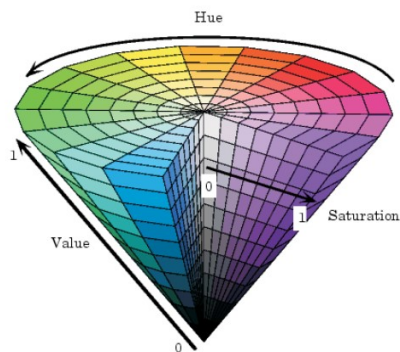
Jas

Vyjadřuje množství odraženého světla. Je to integrální energetický parametr světla vyjadřující součet všech energetických složek jednotlivých monochromatických světél. Jas je dán hodnotou maxima křivky dané barvy (menší hodnota maxima křivky znamená méně jasnou barvu (viz Obrázek 3). V kolorimetrii se užívá relativní vyjadřování jasu v procentech, označované jako měrná světlost. [3, 4]



Obrázek 3. Grafické znázornění průběhů barvy různého jasu (stejněho tónu barvy a stejné sytosti). [4].

Obrázek 4 znázorňuje charakteristiky chromatických barev. Je zřejmé, že různými změnami intenzity odstínu, sytosti a jasu lze získat velké množství barev.



Obrázek 4. Znázornění odstínu (Hue), sytosti (Saturation) a jasu (Value). [5]

2.3 Definování barev

Barevný vjem lze těžko definovat, či slovně popsat vzhledem k obrovskému množství barev, které je lidské oko schopno rozlišit. Tento problém je možné zaznamenat ve chvíli snahy popsat barevnou variaci z paměti, popř. při pokusu popsat barvu prostřednictvím zvukových komunikačních prostředků. Pod jedním názvem barvy si lze představit mnoho odstínů a rozdíly ve výkladu barvy mohou být velké. U modré barvy si lze představit indigovou, nebesky modrou, námořní, nebo kobaltovou a stejné je to se všemi odstíny barev. Tento problém se snažil řešit např. laureát Nobelovy ceny z roku 1909 Wilhelm Ostwald, nebo umělec Albert Henry Munsell.

Pro přesné stanovení barvy slouží barevné systémy a barevné atlasy. Usnadňují komunikaci o barvě na vzdálenost, jejich využití je též vhodné pro analýzu a definici estetických vztahů mezi barvami. Ve výrobních průmyslových odvětvích je požadováno sledování barevnosti produktů a jejich částí, což vyžaduje systematickou klasifikaci barev. Tu lze provádět vizuálně, nebo přístrojově. Hodnocení barevnosti se využívá k označení (popisu) barvy, nebo pro posouzení rozdílu barevnosti dvou barev. [3, 6]

Pro hodnocení barev se využívá dvou metod:

- Vizuální hodnocení (subjektivní metoda)
- Numerický popis barvy (objektivní – fyzikální metoda). [3]

2.3.1 Vizuální popis barvy

Jedná se o psychofyzikální proces, při kterém je pro získání nejpřesnějších možných výsledků nutné dodržet určité podmínky:

- Hodnotící osoba musí mít bezdefektní barevné vidění, dobrý zdravotní stav fyzický i psychický. Je třeba řádného proškolení k hodnocení barevnosti a dostatek času pro posouzení vzorku.
- Normovaný zdroj světla.
- Hodnocené vzorky musí být dostatečné velikosti a stability. Je nutné, aby předloha a vzorek byly v těsném kontaktu.
- Konstantní pozorovací úhel.
- Achromatické definované pozadí, které neovlivní vizuální vjem pozorovatele.

Vizuální hodnocení barvy je subjektivní metoda a nelze tak dosáhnout přesných výsledků ani u zkušeného hodnotitele. I jeden hodnotitel může během dvou posudků stejného vzorku dojít k odlišnému závěru.

Pro vizuální hodnocení barev se využívá systémů uspořádání barev, nebo se hodnotí vzorek vůči předloze (standardu). Tyto metody lze kombinovat. [3]

2.3.2 Objektivní (numerický) popis barvy

Objektivním popisem barvy se zabývá vědní obor Kolorimetrie. Tento obor se zabývá měřeními barev a umožňuje objektivizaci smyslového vjemu barev a jeho numerickou definici

včetně barevné diference. Objektivní popis barvy má vyjádřit a zaznamenat barvu nezávislým způsobem na individuálním vizuálním posudku tak, aby byl opakovatelný, a to i na jiných působištích. Uplatnění nalézá ve všech odvětvích, kde se jedná o barevné produkty. [2, 7]

K objektivnímu popisu barvy je třeba dodržovat určitých stanovení vydaných Mezinárodní komisí pro osvětlování CIE. Ta ustanovila v roce 1924 pracovní skupinu pro kolorimetrii, zabývající se základy měření barevnosti, která vydala různá doporučení týkající se světla a barev. Pro tuto práci jsou podstatná doporučení týkající se definic barevných prostorů, normy definující metodologii měření, vlastnosti pozorovatele a vlastnosti osvětlení. Cílem CIE je vytvořit a průběžně aktualizovat systém, který umožňuje objektivně popisovat barvy a jejich kvantitativní vlastnosti. [3, 7, 8]

Při kolorimetrickém měření barevnosti, je třeba rozlišit, zda měřené světlo pochází z primárního, nebo sekundárního světelného zdroje. Primární světelný zdroj svítí vlastním světlem, jedná se např. o slunce, hvězdy, žárovku, svíčku, sekundární světelný zdroj svítí světlem jiného světelného zdroje, které je od objektu odraženo, nebo jím prochází např. měsíc, obloha a další osvětlované objekty. Jejich jas je závislý na osvětlení a činiteli odrazu či prostupu. Jelikož tyto činitele bývají spektrálně závislé, zpravidla dochází ke změně barvy dopadajícího světla a odražené světlo od objektu má jiné spektrální složení. [3]

Při měření barevnosti druhotného světelného zdroje je proto nezbytné objektivně charakterizovat vlastnosti součástí způsobující vizuální vjem:

- Zdroj světla
- Pozorovaný objekt
- Pozorovatel [3]

Pokud dojde ke změně kterékoliv této složky, dojde také ke změně barevného vjemu. Proto je nutná specifikace základních fyzikálních veličin charakterizujících barvu, tedy:

- Sjednotit a charakterizovat vlastnosti světelného zdroje v oblasti viditelného spektra
- Upřesnit standardní podmínky osvětlování a pozorování
- Normativně popsat vlastnosti průměrného lidského oka a pochodů zprostředkovávajících vznik barevného vjemu
- Výslednou barvu popsat číselně a všechny reálné barvy soustředit do jednotného barevného prostoru [3, 9]

Na základě uvedených nezbytností schválila CIE doporučení:

- Standardní – normalizované světelné zdroje
- Podmínky osvětlování a pozorování
- Etalony činitele odrazu
- CIE standardní pozorovatel
- Soustředit všechny barvy do jednotného barevného prostoru (kolorimetrická soustava X, Y, Z) [3, 7]

2.3.2.1 Normalizované zdroje světla

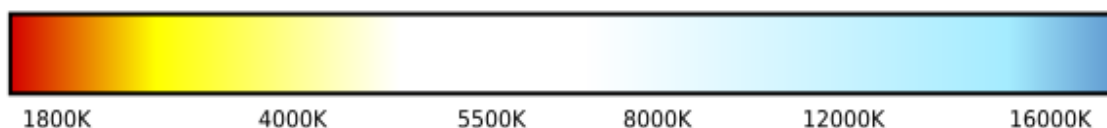
Jak již bylo uvedeno, pro dosažení objektivního popisu barvy, je při měření kolority předmětu nutno dodržet daná stanovení Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE), která objektivní popis barvy zajišťuje. Jedním z nich je použití světla s normovaným spektrálním složením, tzv. normalizovaného světelného zdroje pro osvětlení předmětu při měření. Výsledná barva předmětu závisí na:

- Intenzitě světla vyzařovaného objektem (závisí na vlastnostech materiálu)
- Spektrálním složení světla, kterým je předmět osvětlován

Kvalitu barevného povrchu popisuje kolorita, kvalitu barevného světla popisuje chromatičnost. Barva světla je závislá na spektrálním složení světla a určuje se teplotou chromatičnosti.

Teplota chromatičnosti

Teplota chromatičnosti stanovuje barvu světelného zdroje a udává se v Kelvinech (K). Světlo určité barevné teploty má barvu tepelného záření vydávané černým tělesem zahřátým na tuto teplotu (viz Obrázek 5). [10, 11]



Obrázek 5. Barva teploty. [12]

Druhy normalizovaných světelných zdrojů

Normalizované světelné zdroje jsou bílá světla:

A: Je světlo shodného spektrálního složení jako umělé žárovkové světlo (plynem plněná žárovka s wolframovou dvojitě vinutou spirálou). Teplota chromatičnosti 2856 K.

B: Je světlo shodného spektrálního složení s denním světlem, ve kterém je převažující složka přímého slunečního záření. Teplota chromatičnosti 4874 K.

C: Je světlo shodného spektrálního složení s přímým denním světlem bez přímého slunečního záření. Teplota chromatičnosti 6774 K.

D: Odpovídá spektrálním složením průměrnému dennímu světlu. Je realizováno pouze číselně a používá se jen pro zpracování spektrofotometrických měření. Je možné jej formulovat pro teploty chromatičnosti v rozmezí 4000–25000 K. Přednostně se používá světlo D65 s teplotou chromatičnosti 6504 K. Normalizovaná světla B a C jsou nahrazována normalizovaným světelným zdrojem D.

E: Spektrálním složením odpovídá izoenergetickému spektru – fyzikálně nerealizovatelné.

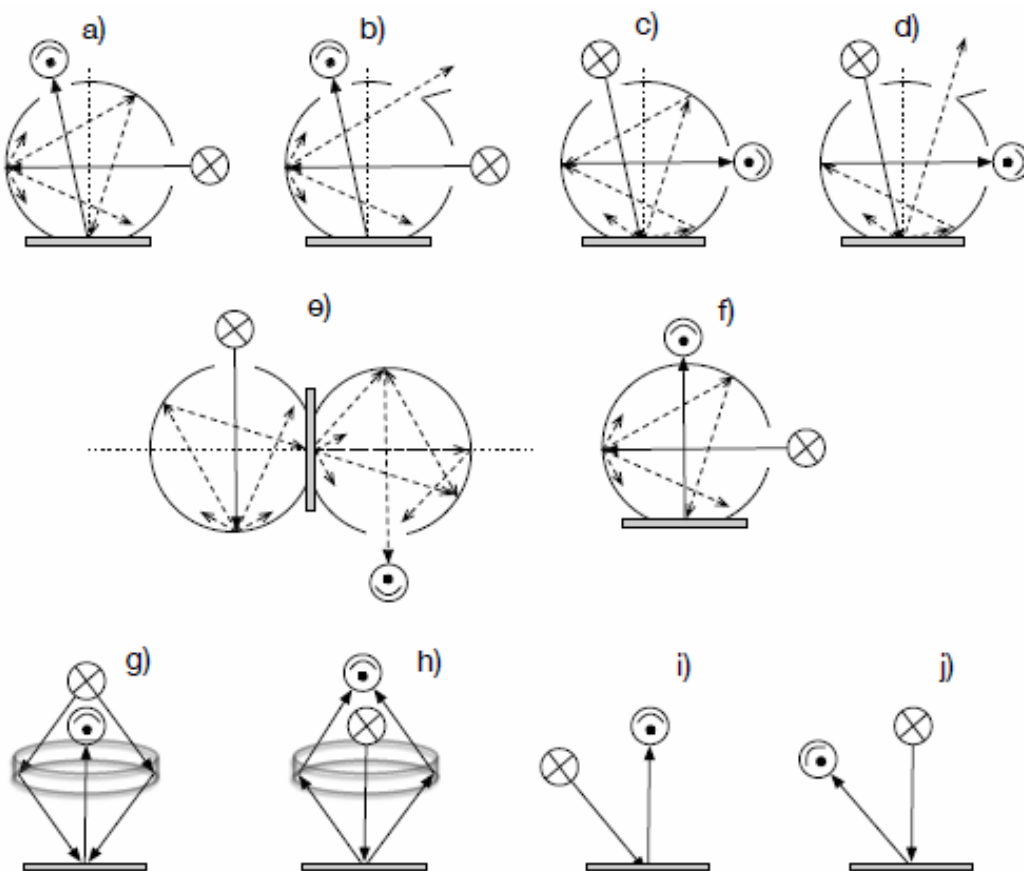
I: Spektrálním složením odpovídá izoenergetickému spektru se stejnou zářivou energií pro každou vlnovou délku.

Relativní spektrální složení záření jednotlivých normalizovaných druhů světla uvádí norma ČSN 0101718 Měření barev. [3, 10, 13]

2.3.2.2 Standardní podmínky osvětlování a pozorování

Podmínky osvětlování a pozorování vyjadřují geometrické uspořádání měřicí soustavy, tedy pod jakým úhlem světlo dopadá a pod jakým úhlem světlo snímáme. Výsledná barva závisí na absorpčních vlastnostech měřeného objektu, jeho struktuře a povrchu. [9]

Základní typy geometrického uspořádání podle CIE jsou: $45^\circ/0^\circ$; $0^\circ/45^\circ$; $8^\circ/d$; $d/8^\circ$ (viz Obrázek 6). První číslo značí úhel dopadu světla, druhé číslo úhel odrazu, d = difúzní osvětlení. V prvních dvou případech ($45^\circ/0^\circ$ a $0^\circ/45^\circ$) se vždy snímá paprsek, který je mimo přímý odraz. U geometrií s integrační koulí je objekt osvětlen ze všech stran, nebo je ze všech stran odrazu přiveden signál do detektoru. Tím se do jisté míry docílí nezávislosti na struktuře povrchu. U difúzní geometrie s integrační koulí je možno provádět měření se záklopkou včetně zrcadlové složky odrazu, nebo bez záklopkou bez zrcadlové složky odrazu. [9]



Obrázek 6. Schématické znázornění CIE geometrického uspořádání při měření druhotných zdrojů. [3]

Obrázek 6 znázorňuje základní typy geometrií měření:

- Geometrie difúzní ku 8° , včetně zrcadlové složky odrazu ($di:8^\circ$)
- Geometrie difúzní ku 8° , bez zrcadlové složky odrazu ($de:8^\circ$)
- Geometrie 8° ku difúzní, včetně zrcadlové složky odrazu ($8^\circ:di$)
- Geometrie 8° ku difúzní, bez zrcadlové složky odrazu ($8^\circ:de$)
- Geometrie difúzní ku difúzní ($d:d$)



- f) Alternativní difúzní geometrie (d:0°)
- g) Kruhový osvit na 45° ku snímání na normále (45°a:0°)
- h) Osvit na normále ku snímání v kruhu na 45° (0°:45°a)
- i) Přímý osvit na 45° ku snímání na normále (45°x:0°)
- j) Osvit na normále ku přímému snímání na 45° (0°:45°x)

CIE standardní pozorovatel

Standardní pozorovatel definuje tzv. normální vidění, které vychází ze zjištěných obecně platných vlastností lidského zraku experimentální metodou. CIE jsou stanoveny dva typy standardního pozorovatele: 2° pozorovatel (1931) a 10° pozorovatel (1964). Odlišnost je v úhlu vstupu paprsků do oka a tím i polohy sítnice, kterou oko barvu vnímá. 2° pozorovatel vnímá barvu nejcitlivější částí oka žlutou skvrnou, ve které jsou pouze čípky a 10° pozorovatel vnímá barvu větší částí sítnice a do vidění jsou zapojeny i tyčinky. Pokud je zorné pole větší než 4°, zasahuje již barevné vidění i do oblasti s menší koncentrací čípků, což může způsobit mírnou odchylku při vnímání barev. Rozdíl je velice malý a zřídka pozorovatelný, nicméně je měřitelný. Tato skutečnost vedla CIE k zavedení doplňkového standardního pozorovatele s 10° zorným polem, který by měl být použit při pozorování se zorným polem větším než 4°. Od roku definování 10° pozorovatele 1964, by každé měření barev mělo obsahovat informaci, kterému ze standardních pozorovatelů měření odpovídá. [3, 7, 8]

Etalony činitele odrazu

Správnost měření ovlivňuje kvalita a aktuální stav kalibračních standardů, proto je nutno dodržovat příslušná stanovení, která zajistí jejich bezchybnou funkčnost. Etalon je primární standard – spektrální činitel odrazu v absolutní míře. Spektrální činitel odrazu v absolutní míře je přesně znám a odborně ověřen příslušným pracovištěm. [3, 14]

Kalibrace určuje metrologické charakteristiky přístroje, systému nebo referenčního materiálu. Kalibrace se obvykle dosahuje přímým porovnáním s etalony nebo certifikovanými referenčními materiály. [15]

Etalon (standard) měřící jednotky, nebo stupnice určité veličiny je měřidlo, sloužící k realizaci a uchování této jednotky nebo stupnice a k jejímu přenosu na měřidla nižší přesnosti. Uchováváním etalonu se rozumí všechny úkoly, potřebné k zachování metrologických charakteristik etalonu ve stanovených mezích, dle ustanovení výrobce, nebo ověřujícího pracoviště. Frekvenci ověřování je zpravidla jednou za rok, pokud interní, či jiné předpisy neuvádí jinak. Ověřování provádí příslušný metrologický institut, nebo pověřený servisní pracovník výrobce měřícího systému. [3, 14, 15]

2.4 CIE kolorimetrické soustavy

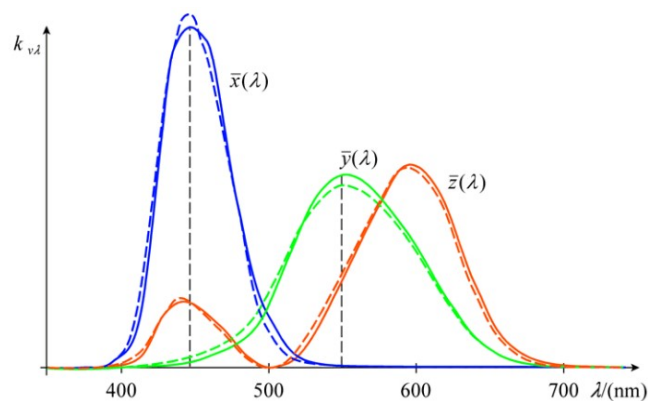
2.4.1 Kolorimetrická soustava XYZ

Kolorimetrická soustava XYZ tvoří základ fyzikálně-matematického popisu barev. Vychází ze systému RGB, který má tu nevýhodu, že některá barevná světla nabývají záporných

hodnot. Soustava XYZ je definována tak, aby funkce pozorovatele nabývaly pouze kladných hodnot, to je možné pouze tehdy, když ireálné osvětlení nabývá pro určité vlnové délky hodnot záporných. Proto byla CIE zavedena tzv. ireálná primární světla XYZ, která umožnila transformaci hodnot trichromatických členů \bar{r} , \bar{g} , \bar{b} tak, aby nabývaly pouze kladných hodnot. Hodnoty trichromatických členů \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} byly stanoveny v roce 1931 pro 2° pozorovatele a v roce 1964 pro 10° pozorovatele. Z průběhů funkcí členů pro oba pozorovatele znázorněných grafem na obrázku 7 je patrné, že hodnoty 10° pozorovatele dosahují vyšších vlnových délek. [3, 8, 16]

Kolorimetrická soustava XYZ definuje polohu všech barev v trojrozměrném kolorimetrickém prostoru XYZ pomocí tří imaginárních primárních barev X, Y, Z. Využívá se téměř výhradně pro kolorimetrické zpracování barev, přesto je jednoznačně základem systému CIE. Soubor primárních barev X, Y, Z, byl zvolen CIE a je definován následujícími vlastnostmi:

- Je založen na experimentálních údajích lidského vnímání barev. Tím je zajištěno, že výsledky při teoretických operacích s barvami pomocí matematických výpočtů odpovídají realitě.
- Sada primárních barev X, Y, Z se chová aditivně, stejně jako primární barvy RGB. Každá barva může být vyjádřena jako směs složek X, Y, Z se stejně značenými hodnotami X, Y, Z.
- Jedna z uvedených tří hodnot – Y zároveň odpovídá jasů barvy. Jas barvy závisí na vlnové délce příslušného světla.
- Všechny hodnoty všech tří složek jsou kladné.



Obrázek 7. Průběhy trichromatických členů \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} . Pro 2° standardního pozorovatele vyznačuje plná čára a 10° standardního pozorovatele vyznačuje přerušovaná čára. [16]

Definice primárních barev XYZ je přímou součástí specifikace standardního pozorovatele z roku 1931. CIE definuje pro standardního pozorovatele sadu barevných funkcí (viz Obrázek 7), které popisují, jakým způsobem je nutno kombinovat primární barvy XYZ pro reprodukci všech vlnových délek viditelného světla. [8, 16]

Výpočet trichromatických složek je definován:

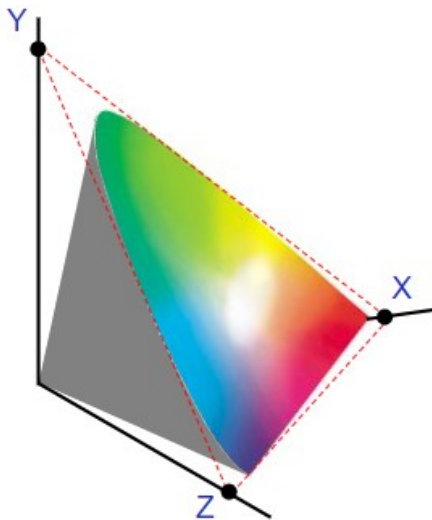
$$\begin{aligned} X &= k \int_{\lambda} E_{\lambda} R_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} d\lambda, \\ Y &= k \int_{\lambda} E_{\lambda} R_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} d\lambda, \\ Z &= k \int_{\lambda} E_{\lambda} R_{\lambda} \bar{z}_{\lambda} d\lambda, \end{aligned} \quad (1)$$

kde k je normalizační faktor určen

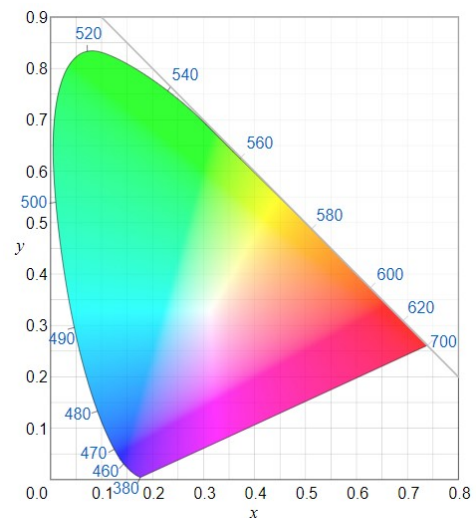
$$k = 100 / \int_{\lambda} E_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} d\lambda, \quad (2)$$

E_{λ} je činitel poměrného spektrálního složení světelného zdroje, R_{λ} je spektrální činitel odrazu dle vlnové délky a \bar{x}_{λ} , \bar{y}_{λ} , \bar{z}_{λ} jsou hodnoty trichromatických členů. V praxi jsou hodnoty součinů $E_{\lambda}\bar{x}_{\lambda}$, $E_{\lambda}\bar{y}_{\lambda}$ a $E_{\lambda}\bar{z}_{\lambda}$ tabelovány, k výpočtu tedy stačí znát remisní křivky zjištěné spektrofotometricky. [3, 17]

Kolorimetrický systém XYZ má ovšem i jisté nevýhody, kterými jsou: malá názornost a vizuální nestejněměrné odstupňování. [3]



Obrázek 8. Kolorimetrický prostor XYZ. [18]



Obrázek 9. Kolorimetrický prostor xy. [18]

Trichromatické složky jsou zároveň systémem souřadnic, ve kterém mají osy X, Y nulový jas. Pokud se vynesou všechny reálné barvy do této soustavy, vznikne barevné těleso CIEXYZ (viz Obrázek 8). Prostorové zobrazení však není praktické, proto se převážně využívá zobrazení ve dvojrozměrném prostoru – CIExy diagram (viz Obrázek 9), pro který platí:

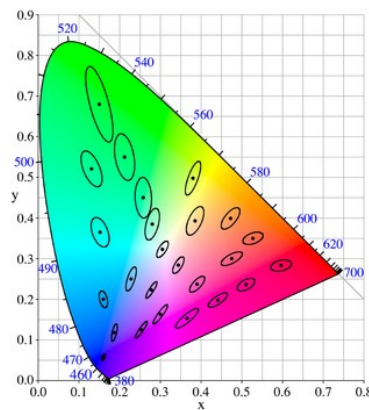
$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{X+Y+Z}, y = \frac{Y}{X+Y+Z}, z = \frac{Z}{X+Y+Z}, \\ x + y + z &= 1 \end{aligned} \quad (3)$$

Jak vyplývá z výše uvedených vztahů, stačí znát hodnoty dvou souřadnic, třetí lze jednoduše odvodit ze zbývajících dvou, např. $z = 1 - x - y$. [3, 8]

Obvod trojúhelníka je tvořen sytými tóny. Sytost barvy se snižuje směrem ke středu trojúhelníka a barvy, které mají stejný odstín, leží na přímce spojující bod na obvodu

trojúhelníka s bodem odpovídajícím bílé barvě. Na křivce tvořící podkovu se nachází barvy vlnových délek viditelného spektra a čára spojující koncové body podkovy, se nazývá purpurová linie. Barvy na této čáře jsou složeny ze směsi čistého fialového světla vlnové délky 380 nm a červeného světla vlnové délky 770 nm. [8, 16]

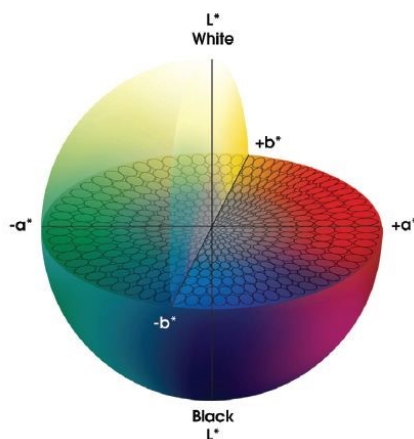
Jak již bylo zmíněno kolorimetrická soustava XYZ, stejně tak i diagram xy mají nevýhodu ve vizuální nestejnóměrnosti odstupňování barev, tzn., že lineární vzdálenosti mezi dvěma barvami v různých místech prostoru, neodpovídají stejným subjektivně vnímaným rozdílům vjemu barvy. Člověk je daleko citlivější na malé změny v oblasti fialové a červené, než na změny v oblastech zelené a žluté. Obrázek 10 znázorňuje toleranční elipsy, které budou podrobněji popsány dále. Tato skutečnost výrazně komplikuje výpočty při porovnání shody dvou barev. Pokud je třeba barevné rozdíly popsat charakteristikami odpovídajícími subjektivnímu vjemu používají se tzv. rovnoměrné kolorimetrické prostory či diagramy. V roce 1976 byly normalizovány dvě takovéto soustavy. Soustava CIELUV a CIELAB. Soustava CIELUV se využívá v oboru světelných zdrojů a barevných signálů, ve fotografii, v televizní a polygrafické reprodukci barev. Tato práce ovšem není zaměřena na žádný z těchto oborů, proto bude podrobněji popsána pouze soustava CIE. [8, 13]



Obrázek 10. Znáornění tolerančních elips v diagramu CIE xy. [19]

2.4.2 Soustava CIELAB

Kolorimetrická soustava CIELAB, rovněž nazývaná $L^*a^*b^*$ (viz Obrázek 11), je normalizovaný, přibližně rovnoměrný, kartézský systém CIE odvozený pomocí matematické transformace z primárních hodnot kolorimetrického prostoru X, Y, Z. Je jedním z nejpoužívanějších barevných prostorů pro měření barev objektů. Svislá osa L^* je parametrem měrné světlosti s hodnotami 0–100, a^* a b^* jsou souřadnice barevnosti. Na ose a^* jsou barvy od červené v kladné části osy, po zelenou v záporné části osy s hodnotami +127 až –128. Na ose b^* jsou barvy od žluté v kladné části osy, po modrou v záporné části osy s hodnotami +127 až –128. Střed prostoru je achromatický a jeho hodnota je 0. [7, 8, 13, 20]



Obrázek 11. Soustava CIELAB. [21]

Výhodou soustavy CIELAB je možnost současného umístění vzorku a standardu, přičemž mezi nimi lze vyjádřit číselnou barevnou diferencii, která umožňuje na základě číselného intervalu, ve kterém se pohybuje, vyjádřit shodu či neshodu ve vybarvení mezi vzorkem a standardem, nebo kontrolovat sytost vybarvení. [7]

Souřadnice $L^*a^*b^*$ jsou určeny vztahy

$$\begin{aligned} L^* &= 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16, \\ a^* &= 500 \left[f \left(\frac{X}{X_n} \right) - f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) \right], \\ b^* &= 200 \left[f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) - f \left(\frac{Z}{Z_n} \right) \right]. \end{aligned} \quad (4)$$

Zároveň platí, že

$$\begin{aligned} f \left(\frac{X}{X_n} \right) &= \left(\frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} && \text{pro } \frac{X}{X_n} > 0,008856, \\ f \left(\frac{X}{X_n} \right) &= 7,787 \cdot \left(\frac{X}{X_n} \right) + \frac{16}{116} && \text{pro } \frac{X}{X_n} \leq 0,008856. \end{aligned} \quad (5)$$

(Stejně vztahy platí i pro $f \left(\frac{Y}{Y_n} \right)$ a pro $f \left(\frac{Z}{Z_n} \right)$, přičemž se za $\frac{X}{X_n}$ dosadí $\frac{Y}{Y_n}$, popř. $\frac{Z}{Z_n}$.) Proměnné X, Y, Z jsou trichromatické složky popisovaného barevného podnětu v soustavě XYZ, X_n, Y_n, Z_n jsou trichromatické složky pro výpočet použitého normalizovaného světla upravené tak, aby pro dokonalý rozptylovač platilo $Y_n = 100$. Tabulky kolorimetrických koeficientů pro různá normalizovaná světla lze nalézt v normě ČSN 01 1718 Měření barev.

Vzdálenost ΔE_{ab}^* dvou bodů barev vzdálených od sebe ve směru jednotlivých souřadných os $\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta b^*$ se získá ze vztahu

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}. \quad (6)$$

Tato rovnice pro výpočet barevných rozdílů dobře vystihuje subjektivní rozdíl barvy dvou ploch stejné velikosti a tvaru, které na bílém či světle šedém podkladu rozlišuje pozorovatel fotopicky

adaptovaný na osvětlení, jehož spektrální složení je málo odlišné od spektrálního složení použitého normalizovaného světla.

Vynese-li se souřadnice b^* v závislosti na souřadnici a^* do pravoúhlé soustavy souřadnic, neodpovídají takto vzniklé body určité barvě. Jejich poloha závisí na velikosti L^* . Výše uvedený výpočet (viz Rovnice (6) definuje velikost barevného rozdílu mezi předlohou a vzorkem, povahu této difference však nestanovuje. V kolorimetrickém prostoru LAB lze tuto charakteristiku vyjádřit pomocí vztahů. [3, 13]

$$\begin{aligned}\Delta L^* &= L_{2(vzorku)}^* - L_{1(předlohy)}^* , \\ \Delta a^* &= a_{2(vzorku)}^* - a_{1(předlohy)}^* , \\ \Delta b^* &= b_{2(vzorku)}^* - b_{1(předlohy)}^* .\end{aligned}\tag{7}$$

Kolorimetrické parametry vypočítané pro jeden zdroj světla a jednoho pozorovatele není možné porovnávat s parametry vypočítanými pro jiný zdroj světla či jiného pozorovatele. Lze porovnávat pouze kolorimetrické parametry ($[X, Y, Z]; L^*, a^*, b^*$) vypočítané pomocí téhož zdroje a zároveň téhož pozorovatele. [9]

Systém CIELAB je sice uváděn jako stejnoměrně odstupňovaný, ale ani vzorec CIELAB nepředstavuje ideální barevný prostor, ve kterém by platilo, že vizuálně stejně vnímaná barevná difference dává ve všech oblastech barevného prostoru stejnou hodnotu ΔE^* . Vizuální nestejnomyšlnost CIELAB je udávána poměrem 1:4 až 1:7 (oproti nestejnomyšlnosti CIE xyY : 1:40), což je příčinou toho, že ΔE^* není vhodný jako parametr pro posudky PASS/FAIL. [3]

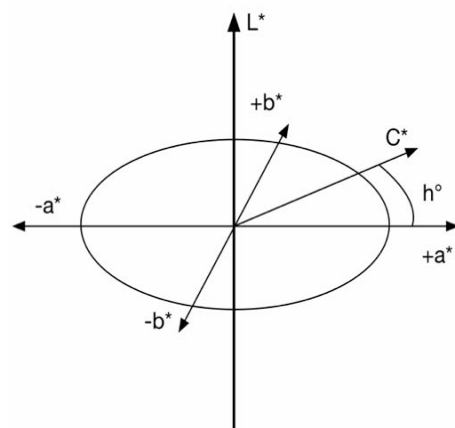
Z a^* a b^* lze vypočítat další atributy barev, čehož se využívá pro systém CIELCH.

2.4.3 Systém CIE LCH

Jedná se o válcový systém, který se v koloristické praxi využívá častěji než CIELAB pro větší shodnost s vyjadřováním barev podle Munsella (viz Obrázek 12). [3]



Obrázek 12. Schéma kolorimetrického prostoru CIELCH. [22]



Obrázek 13. Souřadnicový systém barevného prostoru CIELCH. [3]

Pro cylindrické souřadnice systému CIELCH platí vztahy

$$\begin{aligned}L^* &= 116 \left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}} - 16, \\C^* &= \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}, \\h^\circ &= \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right),\end{aligned}\tag{8}$$

kde L^* je měrná světlost (svislá osa), C^* je měrná čistota (poloměr válce) a h° je měrný odstín (úhel kolem obvodu), jenž nabývá hodnot 0–360° (viz Obrázek 13).

Při definování povahy diference v kolorimetrickém prostoru CIELCH je třeba upravit úhlovou diferencí tak, aby neměla polární, ale kartézský charakter. K tomu slouží vztahy

$$\begin{aligned}\Delta L^* &= L_{2(\text{vzorku})}^* - L_{1(\text{předlohy})}^*, \\ \Delta C^* &= C_{2(\text{vzorku})}^* - C_{1(\text{předlohy})}^*, \\ \Delta H^* &= \sqrt{(\Delta E^*)^2 - (\Delta C^*)^2 - (\Delta L^*)^2}.\end{aligned}\tag{9}$$

Protože výpočet měrného odstínu ΔH^* neurčuje, zda je výsledná hodnota kladná, nebo záporná, znaménko odchylky se určuje posouzením vzájemného postavení vzorku vůči předloze. Pokud leží vzorek proti směru hodinových ručiček od předlohy je odstínová odchylka $+\Delta H^*$, pokud je poloha vzorku po směru hodinových ručiček od předlohy, odstínová odchylka je $-\Delta H^*$.

K nedostatkům tohoto systému patří závislost na síle vybarvení a tím i na měrné čistotě a jistá neurčitost definice. [3]

3 Hodnocení barevných rozdílů

V průmyslové praxi napříč obory se lze běžně setkat s potřebou hodnotit barevnost, ať jde o posudky barevných rozdílů, nebo hodnocení stálosti vybarvení, v chemii se kolorimetrických metod využívá ke stanovení koncentrace roztoku a takto by bylo možné jmenovat nespočet oborů, kde se kolorimetrický obor uplatňuje.

Jak již bylo zmíněno, posudky barevných rozdílů se provádí vizuální, nebo objektivní metodou pomocí přístrojového měření. Základní podmínky, které je třeba dodržovat, již byly popsány. V následující části bude přiblížena metodika posudků.

3.1 Vizuální posudky

Pro dosažení co nejpřesnějších výsledků je třeba dodržet standardní podmínky pozorování a osvětlování. K tomu slouží koloristické skříně, vizuální boxy atp. Tato zařízení musí splňovat řadu parametrů např. barevně neutrální plochu k hodnocení. Nejčastěji se využívá světle šedé pozadí N7 dle Munsellova atlasu, ale i N5 – neutrální šed'. Pro automobilový průmysl se používá speciálních skříní pro vizuální hodnocení lesku s černým pozadím a často i negativním skosením dna.

Kolorimetrické skříně jsou opatřeny světelnými zdroji, které zajišťují osvětlení dle CIE. Tyto zdroje musí zároveň splňovat podmínky osvětlenosti. Doporučované rozmezí je 900–1700 Lx. Osvětlenost se často stanovuje podle světlosti hodnocených vzorků a při výměně informací o měření je nutno intenzitu osvětlení uvést. Kolorimetrická skříň by měla být umístěna do tmavé místnosti, popř. skříň zastínit, aby nedocházelo k ovlivnění výsledků z měření okolním světlem (vlivem metamerie). Ve zprávě z měření je nutno uvádět: příslušnou normu osvětlení, intenzitu osvětlení (osvětlenost), druh použité geometrie osvětlování a pozorování, uspořádání vzorků, metodu hodnocení. Pro posuzování barevných rozdílů lze volit mezi dvěma metodami:

- Konstatování (vyhovuje / nevyhovuje určité toleranci)
- Přiřazení vzorku k nejbližšímu standardu, ze schválené řady standardů. Výroba standardů je náročná, proto se užívá jen tam, kde není častá změna barvy, jako jsou plastové výrobky nebo nátěrové hmoty. Pokud dochází k časté změně barvy, popř. je velké množství barevných odstínů, používá se pro hodnocení šedých stupnic. Tato metoda je subjektivní, tedy neurčitá. [3]

3.2 Přístrojová měření

Kolorimetrická měření využívají spekroradiometry, kolorimetry a spektrofotometry. **Spekroradiometry** se využívají při měření prvotních světelných zdrojů, nebo ve výzkumných laboratořích. **Kolorimetry** se využívají při měření druhotných světelných zdrojů. Kolorimetrů je několik typů:

- Tristimulární kolorimetry. Tristimulární v názvu kolorimetru upřesňuje, že daný kolorimetr odpovídá průběhy použitých filtrů CIE standardnímu pozorovateli.

- Kolorimetry pro stanovení koncentrací určitých látek s jedním, nebo více filtry.
- Srovnávací kolorimetry, kdy se v zorném poli porovnává měřený barevný podnět s obvykle třemi měrnými podněty přístroje. Změnou v koncentraci měrných podnětů přístroje se docílí vyrovnání zorného pole tak, aby barva srovnávaných částí zorného pole byla shodná. Ze zjištěných údajů ovládacích prvků přístroje se stanovují hledané trichromatické souřadnice.

Kolorimetry jsou jednoduché konstrukce a mají nízkou pořizovací cenu, měření pomocí kolorimetrů je nejrychlejší, nejpohodlnější a nejjednodušší, což je velmi výhodné. Z těchto měření lze však získat pouze trichromatické hodnoty, nejsou tedy vhodné pro receptování a přesné měření metamerie.

Spektrofotometry se využívají pro měření prvotních i druhotných světelných zdrojů, mají nejpřesnější výsledky měření a využívá se jich rovněž pro stanovení etalonů. Spektrofotometry pracují s využitím vestavěného monochromátoru. Spektrofotometr zaznamená i spektrální charakteristiky barevného podnětu, ze kterých se stanovují odpovídající trichromatické složky (souřadnice ve zvolené trichromatické soustavě). [3, 13]

3.2.1 Metodiky měření

Pro shodné výsledky posudků odběratele i dodavatele je třeba dodržovat shodné metodiky přípravy a měření vzorků. Metodika je třeba zvolit taková, aby odpovídala skutečnému použití vzorku. Měření má být opakovatelné v rámci tolerancí nutných pro daný úkol.

Při měření nesmí vzorek proniknout skrz měřící clonu do nitra integrační koule. Taková situace může nastat např. při měření objemných vzorků. Tomu se dá zamezit např. použitím krycích skel, nebo použitím clony menšího průměru – ale pro daný případ největšího možného. V takovém případě je třeba navýšit počet měření. Pro měření některých materiálů existují speciální přídatná zařízení (např. pro koberce).

Výsledky měření může z velké části ovlivnit pozadí, na kterém je vzorek měřen, např. při měření průsvitných objektů, proto je třeba zajistit takové podmínky, aby množství světla, které je schopno materiálem projít výsledky měření neovlivnilo. Na různých pracovištích mohou být pozadí při měření odlišná, a tedy i výsledky měření stejného vzorku by byly rozdílné.

Nejčastěji využívané metody pro odstranění vlivu pozadí:

- Dostatečný počet vrstev vzorku (počet vrstev musí být odsouhlasen odběratelem i dodavatelem)
- Měření na černobílém pozadí (metoda kontrastního poměru)

Při měření vzorků by se mělo provádět tzv. měření s opakováním. Nejmenší počet opakovaných měření by měl být 4, při použití menší clony je však třeba více opakování měření. Mělo by platit: čím menší clona, tím více opakování měření. [3]

3.3 Barevné diference a barevné tolerance

Při výrobě barevných produktů jsou velmi často kladeny požadavky na dosažení určité barevnosti výrobku. Dosažený barevný výsledek je třeba posoudit objektivně pomocí metrické metody, která dokáže číselně vyjádřit barevný rozdíl mezi dvěma vzorky. Metoda používaná k takovým posudkům se nazývá PASS/FAIL. Metoda je založena na predikci tolerance pomocí tolerančních elipsoidů v příslušném kolorimetrickém prostoru. Tvar a velikost tolerančního elipsoidu je určen nastavením uživatelských tolerancí. Použití barevných tolerancí při barevných posudcích je výhodné. Je tak možné poměrně rychle stanovit přijatelnost (PASS) / nepřijatelnost (FAIL) vzorku, pokud se metody stanovení barevných rozdílů využívají již v průběhu výroby, je možné tak předejít potencionálním problémům. V neposlední řadě je to velmi dobrý nástroj pro komunikaci se zákazníkem, pro určení přesných požadavků a kontrolu jejich splnění.

Nejprve je třeba definovat rozdíl mezi barevnými diferencemi a barevnými tolerancemi. Barevnou diferencí určuje euklidovská vzdálenost mezi dvěma body (barvami) v kolorimetrickém prostoru (viz Obrázek 14), popsána číselnou hodnotou. Získává se pomocí matematického výpočtu z naměřených hodnot. Existuje mnoho druhů matematických rovnic, kterými lze dosáhnout výsledku určujícímu vzdálenost mezi předlohou a hodnoceným vzorkem. Výběr rovnice pro výpočet je významný, protože výsledky jednotlivých rovnic se mohou podstatně lišit.

Barevné tolerance představují prostor (zpravidla ve tvaru elipsoidu), v jehož středu je barva předlohy (viz Obrázek 15). Hranice tolerančního prostoru udávají maximální rozdíl, který je přijatelný. Všechny hodnoty ležící uvnitř tolerančního prostoru jsou přijatelné – PASS, všechny hodnoty ležící mimo toleranční prostor jsou nepřijatelné FAIL. Při výsledku, který by měl hraniční hodnotu, je třeba jej zvážit, aby nedošlo k chybnému posudku. Hranice přijatelnosti jsou číselné hodnoty, jejichž velikost se mění ve směru světlosti, čistoty i odstínu. Toleranční hranice platí pro posouzení vzorku s předlohou.

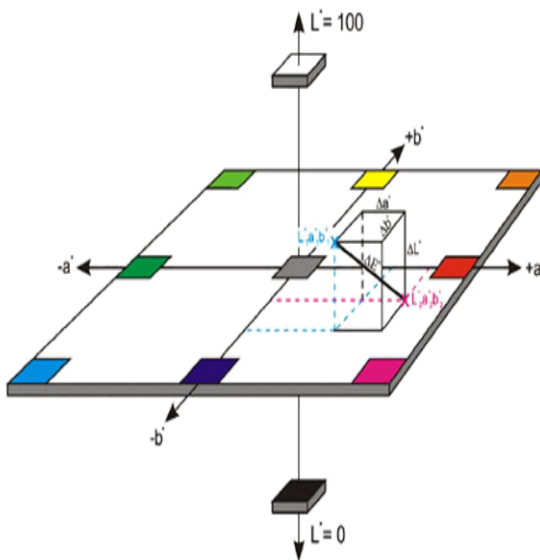
Tyto dvě charakteristiky je možné posoudit pomocí rovnic pro výpočty barevných diferencí, kterými lze do určité míry předpovědět, zda barevný rozdíl bude vizuálně vnímatelný. Příčinou vývoje diferenčních rovnic byla vizuální nestejnomyšlnost kolorimetrických prostorů a snaha o odstranění tohoto nedostatku.

Nastavení tolerancí není jednoduché. Požadavkem je pomocí tolerančních mezí určit, zda je barevný rozdíl mezi předlohou a vzorkem natolik velký, že bude vizuálně vnímatelný. Velikost tolerančního prostoru je ale třeba nastavit i s ohledem na další aspekty tak, aby nedocházelo nerealistickým požadavkům, které by zbytečně vedly k nesprávným odmítnutím a zbytečně vysokým výrobním nákladům. Nastavení tolerančních mezí by mělo být rozlišováno pro případy, kdy součásti od sebe odděluje mezera (mezera mezi součástmi zhoršuje vizuální rozlišení barevných rozdílů – záleží i na velikosti mezery). [23]

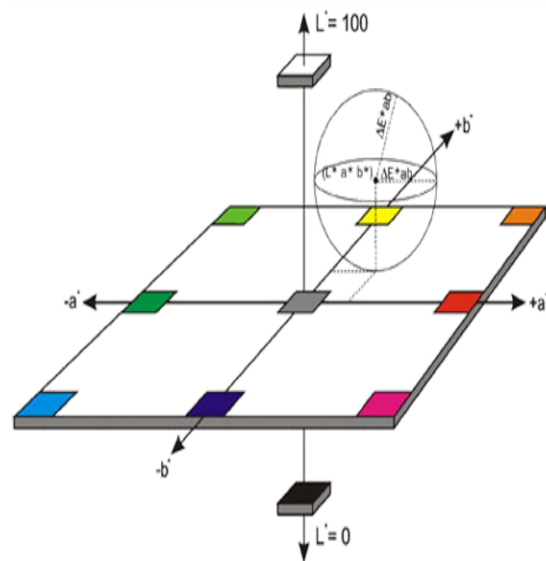
Při vyhodnocování výsledků pomocí metody PASS/FAIL je třeba brát v úvahu i další souvislosti a nevyhodnocovat pouze na základě výsledné numerické hodnoty. Je doporučováno neřídit se tzv. „ostrým kritériem“, kdy všechny hodnoty menší, nebo rovné nastavené toleranci

jsou přijaty a ostatní hodnoty jsou zamítnuty. Je doporučeno definovat tzv. „šedou oblast“, ve které jsou hraniční hodnoty tolerance a takové hodnoty zvážit pomocí jiné metody, např. pomocí vizuálního hodnocení. Další problém, se kterým je možné se setkat, je špatné vyhodnocení posudku u produktu, který je sestaven z více součástí. Např. automobil: karoserie automobilu a nárazník. Karoserie může velice dobře korelovat s barevným standardem, barevnost nárazníku bude kontrolována na několika místech a všechny hodnoty budou v tolerančních mezích, což by znamenalo přijetí. Ovšem jedna strana nárazníku bude dosahovat hraničních tolerancí na jedné straně tolerančního elipsoidu a druhá strana nárazníku bude dosahovat hraniční hodnoty na protější straně tolerančního elipsoidu. V takovém případě by barevný rozdíl byl vnímatelný. [23]

Tento problém může být řešen pomocí nastavení hraničních tolerančních mezí na $\frac{1}{2}$. Může se zdát, že je to vhodné řešení, ale nastává zde problém, kdy je produkt sestavován z většího množství doplňkových součástí, které jsou vyráběny různými dodavateli. Pokud k řešení tohoto problému každý dodavatel ve výrobním řetězci přistoupí stejně a zvýší požadavky na barevné tolerance na $\frac{1}{2}$ a to až po dodavatele nátěrových hmot, který použije stejného kritéria na dodavatele pigmentů, je zřejmé, že takové argumenty povedou k nereálným požadavkům, které není možné splnit. [23]



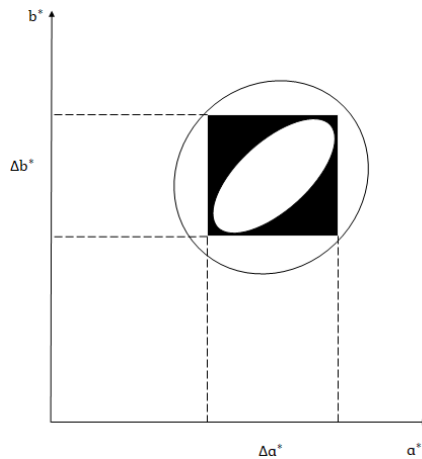
Obrázek 14. Znáznění barevné diference v kolorimetrickém prostoru CIELAB. [20]



Obrázek 15. Znáznění barevné tolerance v kolorimetrickém prostoru CIELAB. [20]

3.3.1 Tolerance v kolorimetrickém prostoru CIELAB

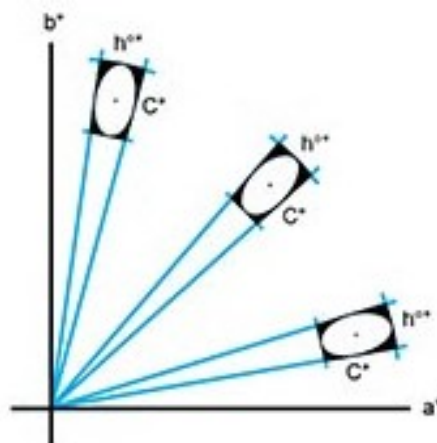
V kolorimetrickém prostoru CIELAB je tolerančním prostorem trojrozměrné těleso ve tvaru krychle, což neodpovídá vizuálně vnímaným tolerancím, které jsou elipsoidního tvaru. V takovém případě může nastat situace, kdy je elipsoid vizuálně vnímaných tolerancí uvnitř toleranční krychle CIELAB a budou tedy přijaty i hodnoty, které by nevyhovovaly (okolí elipsoidu uvnitř krychle). Může nastat i situace, že toleranční elipsoid bude umístěn kolem toleranční krychle, a naopak dojde k tomu, že nebudou přijaty hodnoty, které ve skutečnosti vyhovují (viz Obrázek 16). [24]



Obrázek 16. Zobrazení tolerančního prostoru CIELAB a umístění tolerančních elipsoidů znázorňujících vizuálně přijatelnou oblast. [vlastní zdroj]

3.3.2 Tolerance v kolorimetrickém prostoru CIELCH

Kolorimetrický prostor CIELCH má obdélníkový tvar, který umožňuje na rozdíl od CIELAB nastavení tolerančního prostoru tak, aby byl orientován ve směru úhlu odstínu, což odpovídá přesněji vizuálnímu vnímání barvy. Dochází tak ke snížení neshod mezi výsledky pozorovatele a výsledky dosažené měření (viz Obrázek 17). [24]



Obrázek 17. Toleranční prostor v soustavě CIELCH. [25]

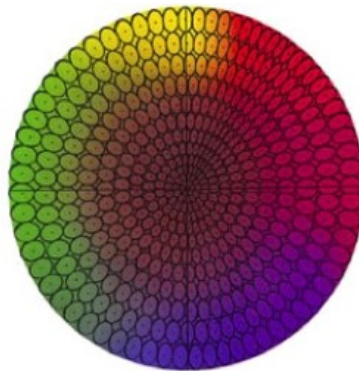
Problém těchto tolerančních prostorů se snaží řešit kolorimetrické rovnice pro výpočty barevných diferencí, které se pokoušejí vytvořit toleranční metody korelující s vizuálním vnímáním barev. Jedním z uznávaných vzorců pro výpočet barevných diferencí a nastavení barevných tolerancí je rovnice CMC (1:c), pomocí které bude systém těchto vzorců interpretován.

3.4 Výpočty barevných diferencí pomocí rovnic

3.4.1 Rovnice pro výpočty barevných diferencí CMC (1:c)

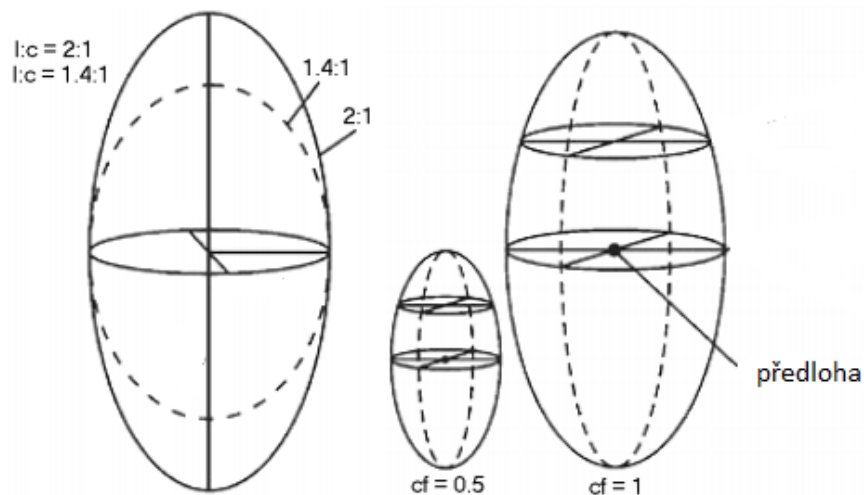
CMC je toleranční systém založený na $\Delta E(L^*, C^*h^\circ)$ (viz Obrázek 18). Poskytuje lepší shodu mezi vizuálním hodnocením a výsledkem dosaženým pomocí kolorimetrických měření

a výpočtů, jelikož matematicky definuje elipsoid kolem standardní barvy. Elipsoid je prostorový útvar a jeho prostor zahrnuje přijatelné barvy. Automaticky mění tvar a velikost v závislosti na poloze barvy v barevném prostoru. Elipsoidy v oblasti oranžové barvy jsou delší a užší oproti elipsoidům v oblasti zelené, které jsou širší a kulatější. Velikost a tvar elipsoidu se mění také v závislosti na odstínu a světlosti.



Obrázek 18. Toleranční elipsoidy rovnice CMC ($l:c$). [25]

Výpočet CMC umožňuje měnit celkovou velikost elipsoidu tak, aby se lépe shodoval s vizuálně přijatelnými rozdíly. Velikost elipsoidu lze nastavit změnou komerčního faktoru (cf) (viz Obrázek 19). Jelikož oko vnímá více rozdíly ve světlosti (l) než v barevném odstínu (c), základní poměr nastavení těchto veličin je 2:1 (dvojnásobný rozdíl ve světlosti oproti barevnému odstínu). Rovnice CMC ($l:c$) umožňuje tento faktor nastavit dle potřeby tak, aby bylo dosaženo co nejlepší shody s vizuálním hodnocením. [24]



Obrázek 19. Změny tvaru a velikosti tolerančního elipsoidu pomocí rovnice CMC ($l:c$). [20]

Rovnice CMC ($l:c$)

Výpočet

$$\Delta E_{CMC(l:c)} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{l S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{ab}^*}{c S_c}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{ab}^*}{S_H}\right)^2}, \quad (10)$$

kde ΔL^* , ΔC^* , ΔH^* jsou barevné diference mezi předlohou a hodnoceným vzorkem, l je jas, c je sytost a S_i koeficienty jsou

$$\begin{aligned}
 S_L &= \frac{0,040975 \cdot L^*}{1+0,01765 \cdot L^*} && \text{pro } L^* \geq 16, \\
 S_L &= 0,511 && \text{pro } L^* < 16, \\
 S_C &= \left[\frac{0,0638 \cdot C_{ab}^*}{1+0,0131 \cdot C_{ab}^*} \right] + 0,638, \\
 S_H &= S_C (FT + 1 - F).
 \end{aligned} \tag{11}$$

V těchto rovnicích vystupují proměnné F a T , které lze získat z rovnic

$$\begin{aligned}
 F &= \sqrt{\frac{(C_{ab}^*)^4}{(C_{ab}^*)^4 + 1900}}, \\
 T &= 0,56 + \text{abs}[0,2 \cos(h + 168)] && \text{pro } 164^\circ \leq h \leq 345^\circ \\
 T &= 0,36 + \text{abs}[0,4 \cos(h + 35)] && \text{pro ostatní } h
 \end{aligned} \tag{12}$$

kde proměnná h

$$h = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right), \tag{13}$$

je odstínový úhel pro každou barvu v rozsahu: $0^\circ \leq h \leq 360^\circ$.

Zavedení dalších funkcí do výpočtů barevných diferencí umožnilo přesněji definovat barevný rozdíl. Výpočet barevné difference $\Delta E_{CMC} \leq cf$, definuje rozsah tolerance. [20]

Již bylo zmíněno, že velikost a tvar lze nastavit dle požadavků. Je nutné brát v úvahu též druh materiálu, aby bylo reálné požadavků dosáhnout. Obecně platí, že čím hrubší textura měřeného povrchu, tím větší poměr $l:c$. Pro hladké a lesklé povrchy je to 1:1, u matovaných povrchů 1,5:1, pro lehce texturované povrchy 2:1 a hrubé povrchy 3:1.

Doporučení pro nastavení velikosti tolerančního elipsoidu cf bývají např. 0,4 pro extrémně kritické posudky, průměrná hodnota velikosti tolerančního elipsoidu je 1, pro velmi uvolněné požadavky je to 2 a více. [3]

3.4.2 Rovnice pro výpočet barevných diferencí CIE2000

Rovnice CIE2000 je vhodná pro výpočty malých barevných diferencí. Je založena na CIELAB, obsahuje váhové funkce světlosti, sytosti a odstínu barvy a parametrický koeficient zohledňující vzájemný vliv rozdílů v rozdílu sytosti barvy a odstínu. Postup výpočtu:

Krok 1. Výpočet barevných souřadnic dle L^* , a^* , b^* dle CIELAB

Výpočet podle rovnic (4) a (5).

Krok 2. Výpočet a' , C' , h'

$$L' = L^*, \tag{14}$$

$$a' = (1 + G)a^*, \tag{15}$$

$$b' = b^*, \tag{16}$$

$$C'_{ab} = \sqrt{a'^2 + b'^2}, \tag{17}$$

$$h'_{ab} = \tan^{-1}(b'/a'), \tag{18}$$

Kde

$$G = 0,5 \left(1 - \sqrt{\frac{\overline{C_{ab}^{*7}}}{\overline{C_{ab}^{*7}} + 25^7}} \right), \quad (19)$$

kde $\overline{C_{ab}^*}$ je aritmetický průměr měrné čistoty C_{ab}^* standardu a vzorku.

Krok 3. Výpočet $\Delta L'$, $\Delta C'$ a $\Delta H'$

$$\Delta L' = L'_b - L'_s, \quad (20)$$

$$\Delta C'_{ab} = C'_{ab,b} - C'_{ab,s}, \quad (21)$$

$$\Delta H'_{ab} = 2\sqrt{C'_{ab,b}C'_{ab,s}} \sin\left(\frac{\Delta h'_{ab}}{2}\right), \quad (22)$$

Kde

$$\Delta h'_{ab} = h'_{ab,b} - h'_{ab,s}, \quad (23)$$

Krok 4. Výpočet CIEDE2000 $\Delta E_{CIE2000}$

$$\Delta E_{CIE2000} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'_{ab}}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'_{ab}}{k_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{k_H S_H}\right)}, \quad (24)$$

kde

$$S_L = 1 + \frac{0,015(\bar{L}' - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L}' - 50)^2}}, \quad (25)$$

$$S_C = 1 + 0,045\overline{C'_{ab}},$$

$$S_H = 1 + 0,015\overline{C'_{ab}}T,$$

Kde

$$T = 1 - 0,17\cos(\bar{h}'_{ab} - 30^\circ) + 0,24\cos(2\bar{h}'_{ab}) + 0,32\cos(3\bar{h}'_{ab} + 6^\circ) - 0,2\cos(4\bar{h}'_{ab} - 63^\circ) \quad (26)$$

a

$$R_T = -\sin(2\Delta\theta)R_C \quad (27)$$

Kde

$$\Delta\theta = 30\exp\left\{-\left[\frac{(\bar{h}'_{ab} - 275^\circ)}{25}\right]^2\right\} \quad (28)$$

$$R_C = 2\sqrt{\frac{\overline{c'_{ab}{}^7}}{\overline{c'_{ab}{}^7} + 25^7}} \quad (29)$$

Vzhledem k zaměření této práce, ve které bude řešena predikční účinnost diferenční rovnice pro výpočty barevných rozdílů AUDI 2000 ve víceúhlovém snímání, bude další část práce zaměřena právě na tuto diferenční rovnici.

3.4.3 Rovnice pro výpočty malých barevných diferencí AUDI 2000

Rovnice pro výpočty barevných rozdílů AUDI 2000 je firemní rovnicí, vyvinutou společností AUDI. K vývoji tohoto vzorce vedla snaha o co nejlepší možné uspokojení zákazníka v oblasti barevné egalitativní produkce.

Požadavky na barevnou jednotnost je složité plnit. Automobil je vyhotoven z mnoha součástí z různých materiálů – karoserie z oceli, další součásti z různých typů plastů. Součásti jsou produkovány různými dodavateli. Pro vybarvení používají dodavatelé různé substráty, s rozdílnými teplotami tání, které umožňují různé teploty pro nanášení a sušení. Používají se též různé laky, vrstvy a aplikace, systémy nátěrů, kdy se některé používají s vodou, některé s rozpouštědly. Vybarvení ovlivňují též podmínky při nanášení jako teplota a vlhkost, které se mohou lišit u každého dodavatele, což vede k barevným rozdílům i při použití naprosto totožného barviva a nanášecího zařízení. [23, 26]

Egalitu vybarvení je třeba hodnotit již při výrobě, kontrola až při konečné montáži není vhodná. Konečné vybarvení by mělo působit jednotným, harmonickým dojmem. Je třeba, aby každý dodavatel kontroloval vybarvení jednotlivých vyráběných částí ještě před odesláním zákazníkovi. Společnost AUDI využívala k barevným posudkům nejprve vizuální metody. Tato metoda však vykazuje mnoho nedostatků. Byla snaha najít efektivnější způsob pro hodnocení barevnosti a do praxe byly zavedeny kolorimetrické metody pro popis a hodnocení barvy. [26]

Prvním tolerančním modelem pro barevné posudky byla rovnice AUDI 95, která byla na základě zkušeností a potřeb následně upravena tak, aby dokázala předpovídat barevné odchylky homogenních i efektivních (goniochromatických) nátěrů. Materiály, které obsahují pigmenty se speciálním efektem, vyžadují složitější způsob hodnocení než homogenní pigmenty kvůli jejich variabilitě jasu u kovových pigmentů, sytosti vybarvení a odstínu u perleťových pigmentů.

Vznikl tak vzorec pro barevné difference AUDI2000, který byl navržen speciálně pro goniochromatické pigmenty, určuje barevné difference s ohledem na tzv. „flop“ efekty. [27, 28]

Výpočet diferenční rovnice AUDI2000

$$\Delta E_{AUDI2000} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L_{\gamma_i}^*}{k_L S_{L,\gamma_i}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{\gamma_i}^*}{k_C S_{C,\gamma_i}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{\gamma_i}^*}{k_H S_{H,\gamma_i}}\right)^2}, \quad (30)$$

kde $\Delta L_{\gamma_i}^*$, $\Delta C_{\gamma_i}^*$ a $\Delta H_{\gamma_i}^*$ jsou rozdíly mezi předlohou a hodnoceným vzorkem v daných parametrech, k_L , k_C a k_H jsou parametrické funkce nezávislé na úhlu pozorování, S_{L,γ_i} , S_{C,γ_i} a S_{H,γ_i} jsou váhové funkce závislé na úhlu pozorování a γ_i jsou aspekulární úhly. [29]

Nastavení parametrických funkcí závisí na účelu použití (viz Tabulka 1).

Tabulka 1. Doporučené nastavení parametrických funkcí

Účel	$k_{\Delta L}$	$k_{\Delta C}$	$k_{\Delta H}$
Výrobní dávka (šarše)	1,0	1,0	1,0
Díly automobilu	2,0	1,8	1,2

Nastavení váhových funkcí

Váhové funkce dávají váhu podle toho, jak moc se veličiny LCH mění s úhlem pozorování. Výpočty vah pro jednotlivé veličiny podle originálního nastavení AUDI2000

$$\begin{aligned} S_{LY_i} &= 1,0 \left(\frac{|L_{\gamma_i}^* - L_{\gamma_{i+1}}^*|}{\gamma_{i+1} - \gamma_i} \right)^{2/3} + 0,002 \cdot C_{45^\circ}^* + 0,33, \\ &= S_{LY_i, Flop} + S_{LY_i, solid} + 0,33, \\ S_{C_{\gamma_i}} &= 1,478 \cdot \left(\frac{|C_{\gamma_i}^* - C_{\gamma_{i+1}}^*|}{\gamma_{i+1} - \gamma_i} \right) + 0,014 \cdot C_{45^\circ}^* + 0,27, \\ &= S_{C_{\gamma_i, Flop}} + S_{C_{\gamma_i, solid}} + 0,27, \\ S_{H_{\gamma_i}} &= 0,800 \cdot \left(\frac{|C_{\gamma_i}^* - C_{\gamma_{i+1}}^*|}{\gamma_{i+1} - \gamma_i} \right) + 0,004 \cdot C_{45^\circ}^* + 0,30, \\ &= S_{H_{\gamma_i, Flop}} + S_{H_{\gamma_i, solid}} + 0,30, \end{aligned} \quad (31)$$

$a_1 - a_6$, označují koeficienty, kterými lze nastavení váhových funkcí měnit

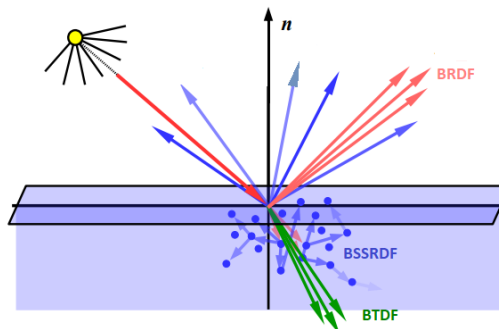
$$\begin{aligned} S_{LY_i} &= a_1 \left(\frac{|L_{\gamma_i}^* - L_{\gamma_{i+1}}^*|}{\gamma_{i+1} - \gamma_i} \right)^{a_2} + a_3 \cdot C_{45^\circ}^* + a_4, \\ S_{C_{\gamma_i}} &= a_5 \cdot 1,478 \cdot \left(\frac{|C_{\gamma_i}^* - C_{\gamma_{i+1}}^*|}{\gamma_{i+1} - \gamma_i} \right) + 0,014 \cdot C_{45^\circ}^* + 0,27, \\ S_{\Delta H_{\gamma_i}} &= a_6 \cdot 0,800 \cdot \left(\frac{|C_{\gamma_i}^* - C_{\gamma_{i+1}}^*|}{\gamma_{i+1} - \gamma_i} \right) + 0,004 \cdot C_{45^\circ}^* + 0,30, \end{aligned} \quad (32)$$

Protože je možné ve vzorci nastavit parametrické a váhové funkce, lze jej přizpůsobit podle účelu použití. Upravené váhové funkce pro světlost ve vzorci AUDI 2000 testovali M. Melgosa, L. Gómez-Robledo a spol. ve studii "Color differences in gonioapparent materials used in the automotive industry". [27] Studie byla zaměřena na testování zmíněného vzorce pro gonioapparentní nátěry. Dosažené výsledky byly velmi dobré. Tento experiment proběhl v návaznosti na studii, ve které Manuel Melgosa a spol. testovali diferenční vzorec AUDI 2000 společně s dalšími předními diferenčními vzorci ve studii: "Measuring color differences in automotive samples with lightness flop: A test of the AUDI2000 color-difference formula", a již zde byla prokázána jeho dobrá účinnost. [29]

4 Způsoby rozptylu světla u vícevrstvých materiálů

4.1 Obousměrné distribuční funkce

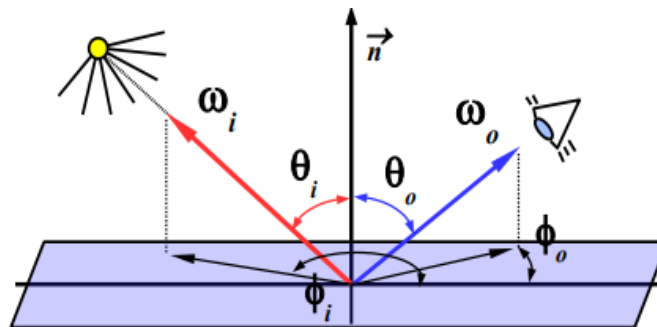
Při kontaktu světelného paprsku s optickým prostředím, může dojít k jeho odrazu, absorpci, lomu, propustnosti, ale také může dojít k jeho rozptylu pod povrchem (viz Obrázek 20). Tyto jevy lze popsat matematicky, pomocí příslušné distribuční funkce BRDF, BTDF, BSDF, nebo BSSRDF.



Obrázek 20. Znárodnění obousměrných distribučních funkcí odrazu BRDF, propustnosti BTDF a rozptylu BSSRDF. [30]

4.1.1 BRDF – odraz

Bidirectional reflectance distribution function – obousměrná distribuční funkce odrazu (viz Obrázek 21) Světlo přicházející v bodě x , se odrazí ve stejném bodě.



Obrázek 21. Obousměrná distribuční funkce odrazu BRDF. [30]

BRDF je funkce dvou parametrů:

- ω_i - udávající směr dopadajícího světla
- ω_o - udávající směr odraženého světla

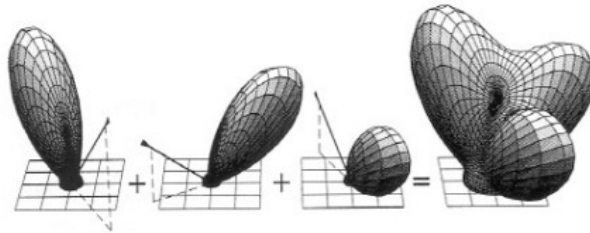
Vyjadřuje poměr odražené diferenciální radianční L_r ve směru ω_o vůči ozáření povrchu $dE(\omega_i)$ ze směru ω_i , kde $L_i(\omega_i)$ reprezentuje zář dopadající ze směru ω_i na bod x a θ_i je úhel dopadající záře vůči normále.

Hodnota BRDF udává hustotu pravděpodobnosti, že „foton“ dopadající na plochu ze směru ω_i bude odražen ve směru ω_o .

Výpočet BRDF:

$$f_r(\omega_i \rightarrow \omega_o) = \frac{dL_r(\omega_o)}{dE(\omega_i)} = \frac{dL_r(\omega_o)}{L_i(\omega_i) \cdot \cos\theta_i \cdot d\omega_i} [sr^{-1}] \quad (33)$$

kde L_r je množství odraženého světla (radiance), L_i množství příchozího světla, θ_i úhel příchozího osvětlení (k normále), ω_o směr odrazu, ω_i směr dopadu, E ozáření (ozáření bodu x od zdroje), L zář (záře vyzářená z bodu x).

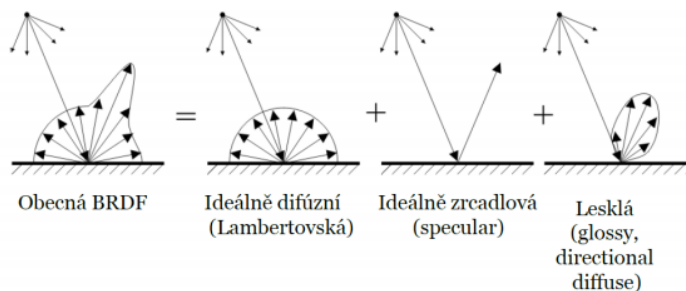


Obrázek 22. Linearita BRDF. [31]

Vlastnosti BRDF:

- Linearita (vzhledem k radianci) – příspěvky světla vyzářené z různých směrů. Lze mezi sebou sčítat. Výsledná odražená energie tak může být příspěvkem několika nezávislých zdrojů světla z různých směrů (viz Obrázek 22).
- Pozitivita – hodnota BRDF je vždy kladná: $f_r(\omega_i \rightarrow \omega_o) \in \langle 0, \infty \rangle$
- Helmholtzova reciprocita – základní vlastnost každé fyzikálně korektní BRDF (tzn., že hodnota BRDF se při záměně úhlů dopadu a odrazu nemění).
- Zákon zachování energie – poměr odraženého zářivého toku k příchozímu zářivému toku je menší, nebo roven 1 (plocha nemůže odrazit více energie, než je celková přijatá energie).
- (An)izotropie – izotropní BRDF je invariantní k otočení kolem normály, anizotropní BRDF má různou mikroskopickou hrubost povrchu v různých směrech (např. tkaniny, broušené kovy) a pokud se otočí plocha kolem normály, dojde ke změně vzhledu.

BRDF se dělí na obecné BRDF, ideálně difúzní – Lambertovské, ideálně zrcadlové a lesklé (viz Obrázek 23).



Obrázek 23. Druhy BRDF. [31]

4.1.2 BTDF – lom / propustnost

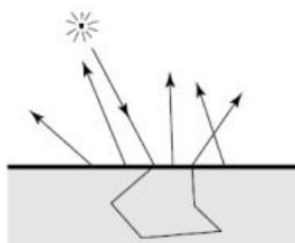
Bidirectional transmittance distribution function – obousměrná distribuční funkce lomu. BTDF popisuje průchod světla povrchem. Chová se analogicky s BRDF, ovšem na opačné straně povrchu.

4.1.3 BSDF – rozptyl / pohlcení

Bidirectional scattering distribution function – obousměrná distribuční funkce rozptylu. BSDF = BRDF+BTDF. [32]

4.1.4 BSSRDF – odraz pod povrchem

Bidirectional scattering-surface reflectance distribution function – obousměrná rozptylová podpovrchová odrazová distribuční funkce (viz Obrázek 24).



Obrázek 24. BSSRDF. [33]

BSSRDF se značí „ S “ a popisuje chování světla při dopadu na materiál, který světlo vyzáří v jiném místě než v místě jeho dopadu. Přitom může v materiálu docházet k vícenásobným světelným odrazům. Odraz pod povrchem ovlivňují různé částičky, pigmenty, jejich struktura a povrch. Při průchodu světla materiálem tak při interakci s těmito částicemi, může dojít k podpovrchovému odrazu, difúzi, lomu. To samozřejmě výsledný vizuální efekt ovlivní. K tomuto jevu dochází u průsvitných materiálů, jako je např. kůže, mramor, textilie. BSSRDF popisuje poměr diferenciálního odráženého záření dL_r , v bodě x_i ve směru ω_i , k dopadajícímu toku $d\Phi_i$ v bodě x_o , ze směru ω_o . Výpočet BSSRDF:

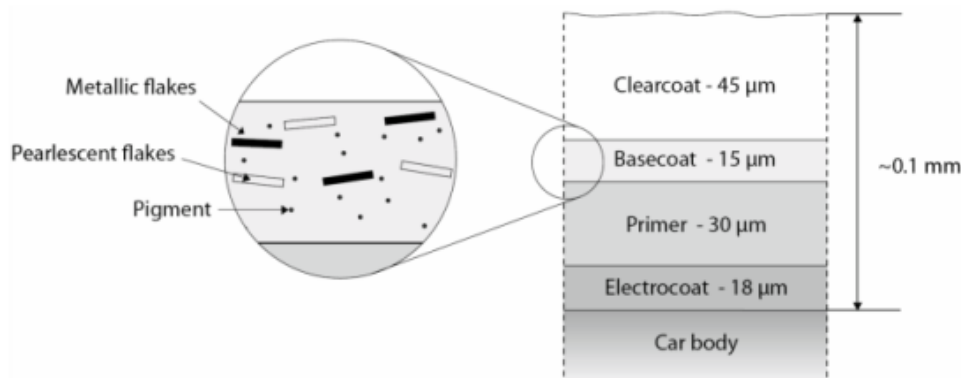
$$S(x_i, \omega_i, x_o, \omega_o) = \frac{dL_r(x_i, \omega_i)}{d\Phi_i(x_o, \omega_o)}. \quad (34)$$

BSSRDF je funkcí příchozí pozice, příchozího směru, odchozí pozice a odchozího směru. Tato funkce je jedním z nejobecnějších popisů přenosu světla. Vzhledem k tomu, že je tato funkce osmírozměrná, je výpočet velmi náročný. Nejnáročnější je u materiálů s vysokým albedem (nízkou absorpcí světla), kdy může světelný paprsek mnohokrát změnit směr šíření, ale ztratit jen malou část energie. Proto se využívá zřídka a je snaha o hledání efektivnějších algoritmů. [34]

4.2 Odraz světla u automobilových nátěrů

V automobilovém průmyslu se většinou používají efektivní úpravy v barevných nátěrech, a proto je třeba při barevných posudcích brát tuto skutečnost v úvahu. Základem všech barevných efektů je interakce mezi světlem a hmotou. K efektům dochází pomocí odrazu,

pohlčení, rozptylu a propustnosti. Barevný nátěr je často vícevrstvý (viz Obrázek 25), to výsledný efekt ovlivňuje. U takových materiálů dochází k několikanásobnému odrazu světla pod povrchem, jak bylo popsáno v kapitole 4.1.4.



Obrázek 25. Schéma znázorňující vícevrstvý metalický barevný nátěr obsahující několik druhů efektních vloček. [35]

Metalický (kovový) efekt

Nátěr s kovovým efektem obsahuje kovové pigmenty (vločky), které způsobují efekt především ve světlosti, zvýrazňují zakřivený profil (světlý / tmavý flop). Dodávají strukturu a kovový vzhled. Nejvýznamnější kovové pigmenty jsou měděné, hliníkové a zlaté (směsi mědi, hliníku a zinku). V automobilovém průmyslu jsou nejčastěji používané efektivní částice hliníkové pigmenty. Zpravidla jsou stříbrně šedé a světlo odráží a rozptylují. Čočkovitý tvar a jemný povrch způsobuje přímočarý odraz světla a barva tak jasně září.

Pro výrobu kovových pigmentů je příslušný kov rozemletý do formy destiček velikosti 10–50 μm . Tyto částičky kovu jsou v laku rozmístěny tak, aby při změně úhlu pohledu došlo ke změně jasu barvy – od tmavých tónů k výrazně jasným odstínům. Optické vlastnosti metalických laků ovlivňuje velikost, koncentrace, povrch a prostorová orientace kovových částiček.

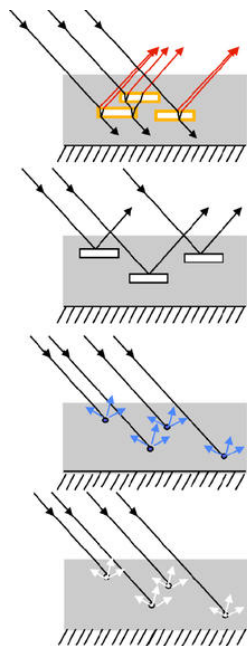
Perleťový efekt

Nátěr s perleťovým efektem obsahuje perleťové pigmenty způsobující posun především v odstínu (barevný flop). Barevný tón a intenzita jasu se mění se změnou úhlu pohledu. Pro jejich výrobu je jako nosič použita slída, která je obalena různými oxidy kovů např. oxid titaničitý způsobuje efekt bílé perleti, oxid hlinitý vysoký jas, oxid železnatý efekt červené perleti. Perleťový efekt způsobuje interference, prostupnost a absorpce. Samotné vločky bývají poloprůhledné a lomivé, tak vytvářejí změny barev. Pro dosažení ideálního výsledku laku, musí být pigmenty uspořádány shodně (rovnoběžně). [36, 37, 38]

Efektivní úpravy se speciálním třpytivým efektem

Speciálních třpytivých efektů se dosahuje pomocí slíd, xiralikátů, borosilikátů.

Pro dosažení požadovaných efektů se využívá speciálních pigmentů, které dosahují požadovaného efektu pomocí interakce se světlem (viz Obrázek 26).



Lesklé perleťové pigmenty => specifický barevný lesk a barevný flop prostřednictvím odrazu a lomu (rušením / ovlivňováním světla)

Lesklé kovové pigmenty => kovový lesk způsobený zrcadlovým odrazem světla

Absorbční pigmenty => dosažení barevného vjemu pomocí selektivní absorpce a rozptylu světla – homogenní nátěry, nedisponující žádnou z efektivních úprav.

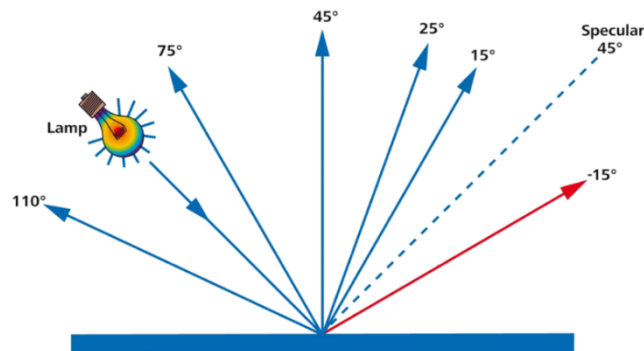
Bílé pigmenty => dosažení vjemu bílé barvy difúzním odrazem světla

Obrázek 26. Interakce světla s efektními pigmenty. [39]

Výslednou barvu a vzhled efektu ovlivňuje úhel pozorování, světelné podmínky i geometrie osvětlení. K hodnocení efektivních nátěrů je vhodné provádět měření ve více pozorovacích úhlech (viz Obrázek 27). Pod vlivem pozorovacího úhlu může nastat změna ve vnímání barvy. Výsledný vizuální dojem (lesk, různorodost, efekt, barva, dojem pomerančové kůry) ovlivňuje též kvalita povrchu. [36]

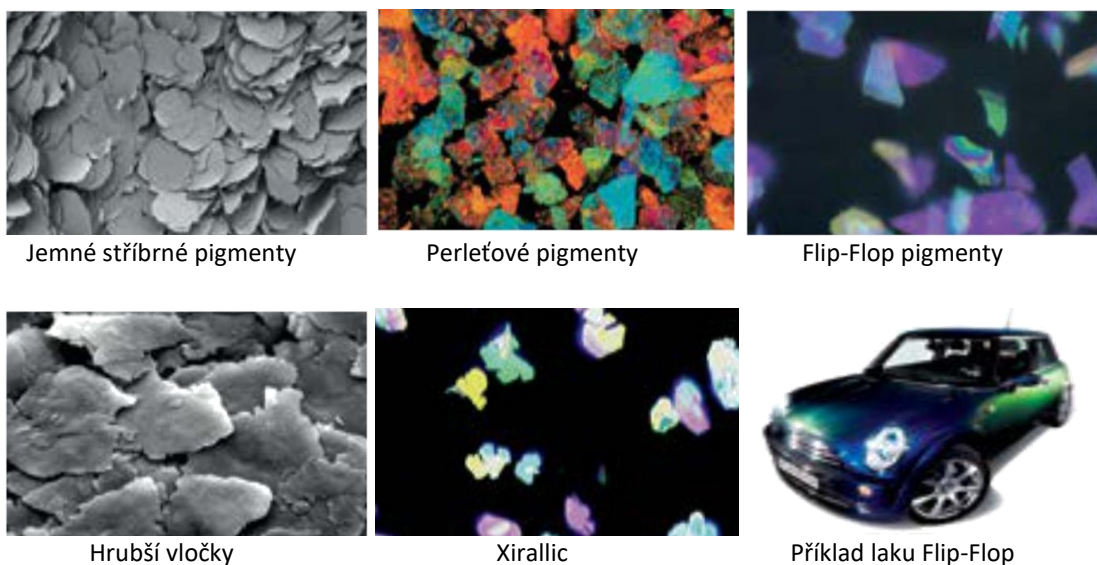
Vzhled povrchových úprav závisí na podmínkách osvětlení.

- Přímé sluneční světlo – jasná obloha, způsobuje jiskření barvy, záblesky. Jiskra se mění s úhlem osvětlení. Jiskření způsobuje např. odrazivost pigmentu a jeho individuálního účinku, množství efektivních pigmentů, velikost pigmentových vloček.
- Rozptýlené osvětlení – při zatažené obloze způsobuje zrnitý až hrubý vzor, tzv. efekt „sůl a pepř“. V tomto případě není důležitý pozorovací úhel, ale pozorovací vzdálenost. Míru zrnitosti může ovlivňovat také velikost pigmentových vloček, nahromadění částic. [36]



Obrázek 27. Aspekulární pozorovací úhly. [40]

Dalším aspektem ovlivňujícím výsledný barevný efekt je charakteristika vločky, její fyzikální vlastnosti – velikost, zakřivení, povrch, struktura, optické vlastnosti, ale také jejich množství, distribuce, orientace a způsob aplikace (viz Obrázek 28). [36]



Obrázek 28. Nejběžněji používané efektivní pigmenty. [41]

Využití efektních pigmentů je velmi široké. Jsou to zmíněné automobilové laky, ale i další druhy laků a nátěrů, uplatnění nachází i v kosmetickém, textilním průmyslu, při výrobě šperků, keramiky, obalových materiálů, ale i v potravinářství atd.

Na základě uvedených rozdílů charakteristik mezi homogenními a efektními laky byl společností AUDI vyvinut vzorec pro výpočet barevných diferencí AUDI 2000, který se snaží zmíněné rozdílnosti ve svém výpočtu zohlednit.

4.3 Odraz světla u tkaných textilií

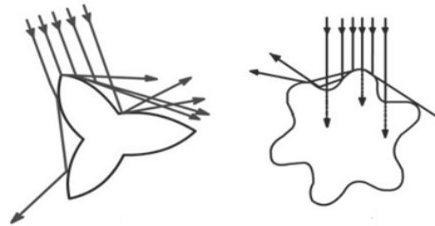
Na barevné podání textilií má velký vliv struktura dané textilie a úhel dopadu světelného toku. Základní parametry, které mohou ovlivnit barevné podání jsou:

- Typ použitého vlákna
- Technologie zpracování příze, měrná hmotnost a zaplnění příze
- Dostava osnovy a útku
- Vazba tkaniny
- Hustota tkaniny
- Finální úpravy

Barevného vzorování tkaniny lze dosáhnout vazbou tkaniny, použitím různobarevných osnovních a útkových nití, nebo tiskem.

Vlákna, ze kterých jsou vyráběny příze mohou mít různé strukturní vlastnosti, které ovlivňují odraz světla jako průřez vlákna, drsnost (viz Obrázek 29). Stejně tak příze, ze kterých se vyrábí tkaniny mohou být různých struktur, např. průměr, hustota, zákrut. Způsob, jakým

se světlo odráží od povrchu textilie, závisí na optických vlastnostech dané textilie. U tkané textilie dochází k odrazu světla z povrchu textilie (viz Obrázek 30), i pod povrchem textilie (viz Obrázek 31) a vzhledem k strukturálním vlastnostem textilie, může u stejných barev v různých textilních strukturách docházet k barevným odlišnostem. Množství povrchově odraženého světla bývá u textilních struktur zpravidla do 5 %. Až 95 % dopadajícího světla pronikne dovnitř textilie, kde dochází k vícenásobnému podpovrchovému rozptylu způsobeného optickými nerovnoměrnostmi přítomnými uvnitř textilního materiálu. Směr odražených paprsků pod povrchem není izotropní. Část světelného toku je uvnitř materiálu absorbováno a část je vyzářeno zpět na povrch v jiném místě a jiném směru.

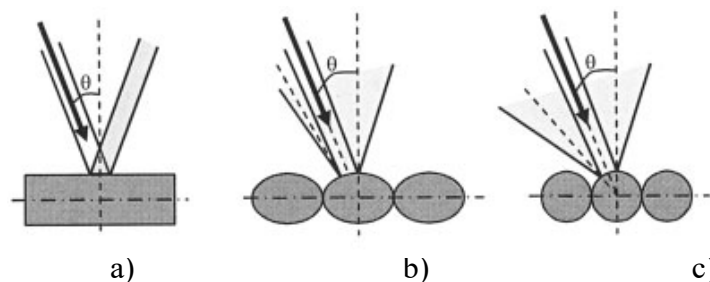


Obrázek 29. Odraz světla různých průřezů vláken. [42]

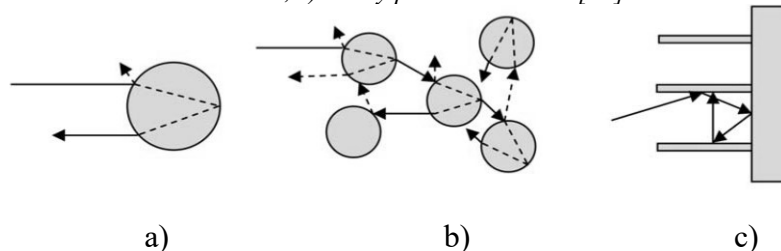
Textilní vlákna mohou obsahovat různé prvky, jako vosky, pektiny, minerální útvary, vzduch. Syntetická vlákna mohou obsahovat i částice způsobující vysoký index lomu, většina vláken obsahuje částičky prachu a jiných nečistot. Všechny tyto prvky ovlivňují index lomu světla. Průměrný index lomu textilních vláken je přibližně 1,5. Průměrný index lomu bavlněných vláken je 1,5557.

Drsný povrch způsobuje rozklad světla v různých úhlech, což vyvolává dojem matného vzhledu, z toho vyplývá, že čím vyšší je drsnost povrchu, tím větší je rozptyl světla, a tedy nižší úroveň lesku.

Odraz světla ovlivňuje směr tkaní textilie a barevné podání se mění s osnovními a útkovými nitěmi na povrchu tkaniny (vliv textury na barevné variace tkaných textilií). [43] [44]



Obrázek 30. Odraz světla podle roviny dopadu a) paralelní průřez tkaninou, b) šikmý průřez tkaninou 45°, c) kolmý průřez tkaninou. [45]



Obrázek 31. Schéma odrazu světla a) vlákno, b) příze, c) vlasová tkanina. [44]

5 Experimentální část

Cílem této práce, bylo hodnocení vlivu geometrie měření na rozdíly barev a ověření účinnosti predikční rovnice pro výpočty malých barevných diferencí AUDI2000, pro použití v textilním průmyslu. V současné době je tato rovnice s dobrými výsledky využívána v automobilovém průmyslu. Vzhledem k možnostem nastavení této rovnice, bylo možné předpokládat dobré výsledky také při využití v textilním odvětví. Rovnice, které jsou schopny úspěšně určit velikost barevné difference jsou velmi efektivním prostředkem ke zkvalitnění produkce a jejich používáním může dojít i ke snížení nákladů, pokud se včas zabrání výrobě barevně chybné produkce.

Experimentální část se skládala ze čtyř částí

- Studie vlivu standardních měřících geometrií spektrofotometrů na výsledné kolorimetrické souřadnice.
- Studie vlivu geometrie osvětlování u systému obrazové analýzy LCAM Imager a porovnání výsledků s hodnocením provedeným pomocí spektrofotometrů.
- Návrh úpravy nastavení rovnice pro výpočty barevných rozdílů AUDI2000 a CIE2000 na základě výše uvedených studií.
- Návrh dalšího postupu.

5.1 Použité vzorky ke zpracování experimentu

Pro všechny studie byly použity tři sady vzorků o velikosti 10×10 cm.

1. Sada textilních vzorků

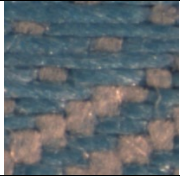



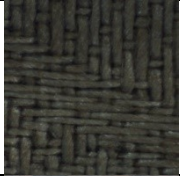
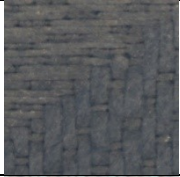

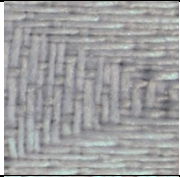
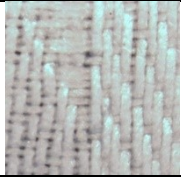
První sada obsahovala 9 ks vzorků z textilní tkaniny, v různých barevných odstínech s různými žakárovými vzory (viz Obrázek 32). První tři vzorky: Tibet 1, Tibet 2, Tibet 3, měly odlišný barevný tón osnovních a útkových nití, jejichž vazbou bylo dosaženo požadovaného vzoru. Vzorky Apollo 1, Apollo 2, Apollo 3 byly stejného barevného odstínu osnovních i útkových nití, vzorování bylo dosaženo kombinacemi textilních vazeb, které tkaninám dodávaly různé stupně lesku. Stejně tak, tomu bylo i u vzorků Topas 1, Topas 2 a Topas 3.



Obrázek 32. Sada textilních vzorků. Označení vzorků zleva: Tibet 1, Tibet 2, Tibet 3, Apollo 1, Apollo 2, Apollo 3, Topas 1, Topas 2, Topas 3.

Tabulka 2 uvádí parametry textilních vzorků. Makroskopické snímky uvedené v tabulce jsou výřezy z makroskopických snímků, obsažených v příloze č. 1.

Tabulka 2. Parametry textilních vzorků

Název vzorku	Makroskopický snímek	Materiál	Vazba	Dostava [počet nití/cm]		Hmotnost [g/m ²]	Tloušťka [mm]
				Osnova	Útek		
Tibet 1		100% Bavlna	Atlasová vazba tkaná žakárovou technikou	78	52	117,8	0,12
Tibet 2		100% Bavlna	Atlasová vazba tkaná žakárovou technikou	78	57	119,4	0,16
Tibet 3		100% Bavlna	Atlasová vazba tkaná žakárovou technikou	77	57	118,2	0,19
Apollo 1		100% Bavlna	Atlasová vazba tkaná žakárovou technikou	86	41	126	0,21
Apollo 2		100% Bavlna	Atlasová vazba tkaná žakárovou technikou	71	42	119,4	0,16
Apollo 3		100% Bavlna	Atlasová vazba tkaná žakárovou technikou	85	44	126,8	0,13
Topas 1		100% Bavlna	Atlasová vazba tkaná žakárovou technikou	72	61	123,2	0,17
Topas 2		100% Bavlna	Atlasová vazba tkaná žakárovou technikou	73	67	118,2	0,16
Topas 3		100% Bavlna	Atlasová vazba tkaná žakárovou technikou	72	50	111,6	0,16

2. Sada strukturních vzorků

Druhá sada obsahovala 8 ks vzorků. Barevný nános na kartónovém podkladu, různých barevných odstínů a různých struktur. Struktura jednotlivých vzorků se lišila geometricky i drsností (viz Obrázek 33).

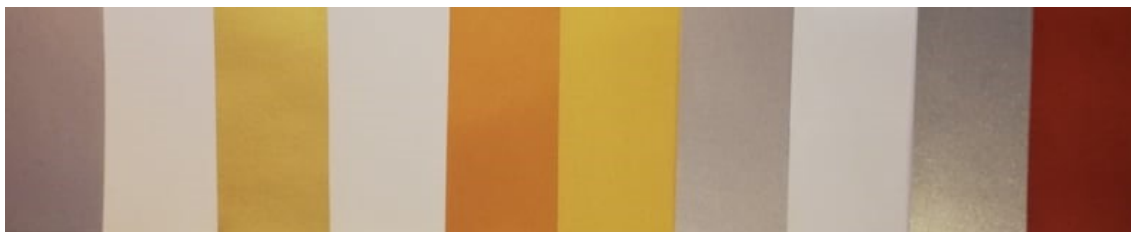


Obrázek 33. Sada strukturních vzorků.

Označení vzorků zleva: D393-vzorovaný, 3500, 4001, 1320, 9355, E001, D393 – jednobarevný, 9350.

3. Sada vzorků s jemným homogenním povrchem

Třetí sada obsahovala 10 ks vzorků. Barevný nános na kartónovém podkladu jemného homogenního povrchu, v různých barevných odstínech (viz Obrázek 34).



Obrázek 34. Sada hladkých vzorků.

Označení vzorků zleva: 2000, E001, 1700, 4001, 1502, 1320, 3500, 2001, 5000, 1542.

5.1.1 Lesk vzorků

Pro přesnější identifikaci vzorků a jasnějšímu porozumění získaných výsledků v následujících studiích, byl u všech vzorků změřen lesk.

Obvykle způsobují hladší povrchy vyšší lesk, nerovné povrchy dodávají materiálům matný vzhled. Lesk je poměr mezi množstvím dopadajícího a odraženého světelného záření, obvykle uváděn mezi 0-100 jednotek lesku. Jednotka lesku je gloss units [GU].

Metodika měření lesku

Pro měření lesku byl použit leskoměr (Zehnter) při 60°, 20° a 85° (úhel platí vždy pro směr osvětlení i snímání). Nejprve byl leskoměr zkalibrován. Každý vzorek byl měřen 10× ve směru osy X a 10× ve směru osy Y. Z naměřených hodnot byl vypočítán aritmetický průměr a směrodatná odchylka. Standardně je doporučováno měřit lesk při 60° a u vzorků, kterým je naměřen lesk větší 70 [GU] použít měřící geometrii 20°, takové vzorky jsou považovány za vysoce lesklé. U vzorků, kterým je naměřen lesk méně 10 [GU], je doporučeno použít měřící geometrii 85°, tyto vzorky jsou považovány za materiály s nízkým leskem, či matné.

Výsledky měření lesku

Hodnotu lesku všech vzorků při 20°, 60° a 85° uvádí následující tabulka (viz Tabulka 3). Červeně jsou zvýrazněny hodnoty platné pro příslušný vzorek, podle doporučení použití geometrie měření, na základě výsledku hodnoty lesku v 60°.



Sada textilních vzorků obsahovala 5 ks vzorků se středním leskem a 4 ks vzorků s nízkým leskem. Strukturní vzorky měly všechny nízký lesk. Sada vzorků s jemným homogenním povrchem obsahovala 8 ks vzorků středního lesku a 2 ks vzorků s vysokým leskem.

Sada strukturních vzorků obsahovala čtyři vzorky, které měly totožnou barvu se čtyřmi vzorky ze sady s jemným homogenním povrchem. Jednalo se o vzorky s označením 3500, 4001, 1320, 9355. Na těchto vzorcích byl jasně patrný vliv struktury materiálu na lesk. Povrch materiálu ovlivňoval směr odrazu světla, drsný povrch způsobil rozptýlenější a nerovnoměrný odraz světla, jemný, nebo hladký povrch více zrcadlový odraz světla. Tyto rozdíly v odrazu světelného paprsku od povrchu materiálu mohou zapříčinit, že přesto, že jde o lesklou barvu, výsledek může odpovídat barvě matné.

Tabulka 3. Naměřené hodnoty lesku [GU]

Textilní	20°		60°		85°	
	Hodnota lesku [GU]	směrodatná odchylka	Hodnota lesku [GU]	směrodatná odchylka	Hodnota lesku [GU]	směrodatná odchylka
Tibet 1	2,75	0,25	18,1	1,1	18,85	1,45
Tibet 2	1,1	0,05	8,45	0,7	3,85	0,9
Tibet 3	0,9	0,1	5,75	0,4	2,1	0,35
Apollo 1	1,3	0	6,35	0,3	1,95	0,15
Apollo 2	0,4	0,05	3,95	0,45	2,45	0,45
Apollo 3	3,5	0,45	20,3	2,5	17,6	3,95
Topas 1	2,45	0,25	14,65	1,3	7,75	1,55
Topas 2	1,95	0,05	11,95	0,75	6,35	0,65
Topas 3	1,75	0,15	11	1,15	6,3	1,15
Strukturní						
D393 barevný	0,3	0,05	2,6	0,25	1,15	0,2
3500	3,15	1,2	9,65	3,35	1,15	0,4
4001	1,85	0,1	6,9	0,6	1,45	0,25
1320	0,6	0,1	3,55	0,95	0,35	0,15
9355	0,7	0,05	3,65	0,25	0,95	0,25
E001	1,9	1,2	8,5	6,75	4,95	5,85
D393 jednobarevný	0,6	0,4	3,7	1,8	0,95	1,15
9350	0,75	0,15	4,5	0,95	1,25	0,3
Jemné						
5000	25,9	0,75	73,65	1,4	38,8	0,6
3500	24,9	0,4	70,3	1,35	37,1	1,2
2001	5,85	0,1	21,8	0,45	27,55	5,25
2000	10,7	0,15	44,55	0,5	48,3	1,3
E001	13,55	0,4	30,7	0,65	18,3	0,8
1700	3,25	0,05	16,4	0,3	9,1	0,35
4001	9,95	0,2	29,7	0,65	18,6	0,6
1542	1,7	0,05	10,1	0,25	16,5	0,4
1502	3	0,05	14,85	0,15	13,35	0,25
1320	1,7	0	10,25	0,25	8,25	0,3

6 Vliv standardních měřících geometrií na výsledné kolorimetrické souřadnice

6.1 Postup zpracování

Spektrofotometrické experimenty byly provedeny pro 3 standardní měřící geometrie:

- Difúzní geometrie ku osmi stupňům, včetně zrcadlové složky odrazu ($di:8^\circ$).
- Difúzní geometrie ku osmi stupňům, bez zrcadlové složky odrazu ($de:8^\circ$).
- Přímý osvit na čtyřiceti pěti stupních ku snímání na normále ($45^\circ x:0^\circ$).

Pro měření celkového a poměrného činitele spektrálního odrazu při difúzním osvětlení byl použit spektrofotometr Datacolor SF 450. Měření při úhlovém osvětlení 45° a snímání v 0° proběhlo na spektrofotometru X-Rite Eye One Pro. Obě měření probíhala v Laboratořích měření barevnosti a vzhledu FT TUL při osvětlení D65 a 10° standardním pozorovateli.

Před začátkem měření byly spektrofotometry řádně kalibrovány pomocí kalibračních standardů, následně pak dle potřeb v průběhu měření. Hodnocení naměřených hodnot bylo prováděno v kolorimetrickém prostoru L^* , a^* , b^* , tyto údaje byly oběma přístroji generovány. Oba přístroje zaznamenávají také spektrální průběh.

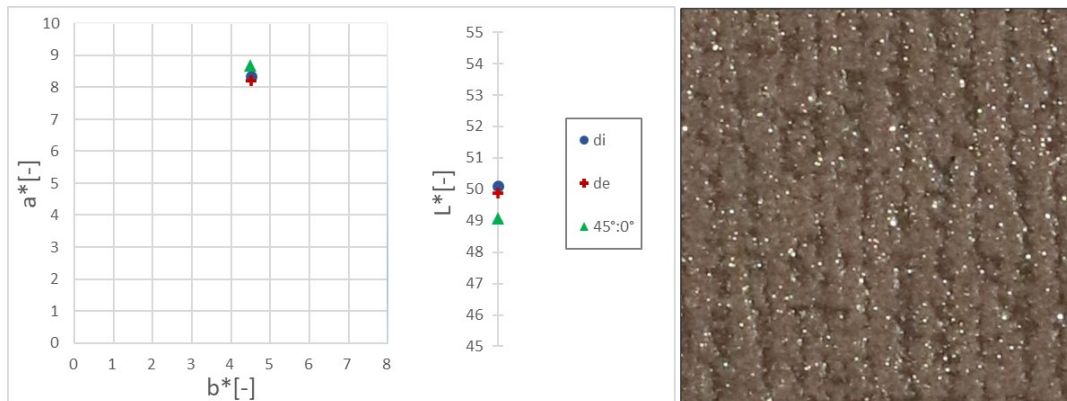
Poloha na vzorku, kde bylo měření prováděno, byla vybírána dle různobarevnosti vzorku. U jednobarevných vzorků byla měřena barevnost ve středu vzorku, dále v každém rohu vzorku. Při změně polohy pro měření byl vzorek otáčen o 45° ve směru hodinových ručiček. Na každém jednobarevném vzorku tedy proběhlo pět měření, ze kterých byl spočítán aritmetický průměr.

U různobarevných vzorků byly provedeny ve stejném počtu měření na jednotlivých barevných odstínech tam, kde byla plocha jednoho barevného odstínu dostatečně velká, aby mohlo být měření provedeno. Tabulka v příloze č.2 uvádí polohy měření na vzorcích a naměřené hodnoty spektrofotometry testovaných měřících geometrií. Celkem bylo provedeno měření 39 ploch na 27 vzorcích. Grafické znázornění výsledků těchto měření je v příloze 3.

6.2 Výsledky měření spektrofotometry

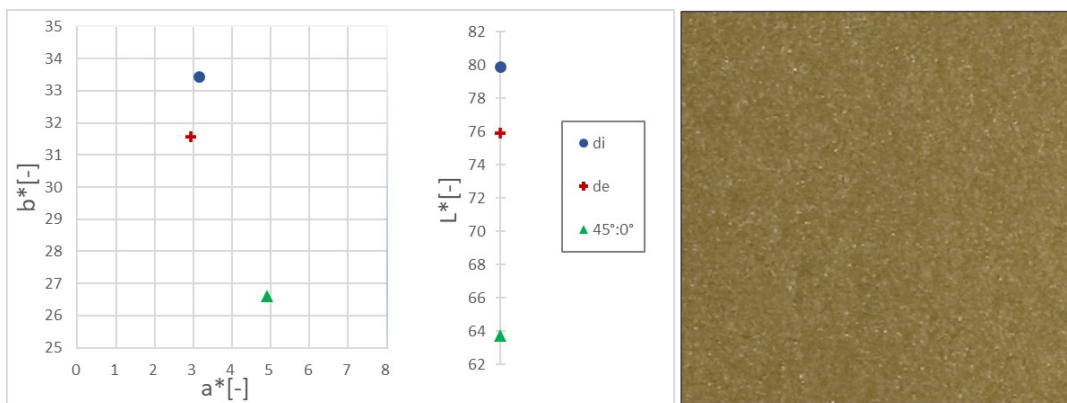
Naměřené výsledky dvou vybraných vzorků znázorňuje Obrázek 35 a Obrázek 36. V grafu (viz Obrázek 35) vlevo jsou výsledky z měření hnědého podkladu pro vzor u strukturního různobarevného vzorku D393. Hnědý podklad obsahoval velmi malé, okem viditelné efektní částičky způsobující vyšší lesk, ovšem vlivem struktury vzorku byl při měření lesku vzorek definován jako matný. Orientace struktury nebyla jednotná, i povrch strukturního vzorku byl mírně zdrsňen (viz Obrázek 35 vpravo). Tyto vlastnosti způsobily rozptýlený odraz světla a naměřené kolorimetrické hodnoty různými měřícími geometriemi si byly velmi blízké. U tohoto vzorku byly u všech použitých spektrofotometrů naměřeny velmi podobné výsledky kolorimetrických souřadnic a^* , b^* . Hodnoty měrné světlosti L^* byly téměř shodné u měření

celkového a poměrného činitele spektrálního odrazu při úhlovém osvětlení při 45° a snímání na 0°, kdy byla naměřená hodnota nižší nejméně o jeden bod.



Obrázek 35. Znárodnění naměřených kolorimetrických hodnot spektrofotometry u strukturního vzorku D393 a snímek struktury vzorku.

V grafu (viz Obrázek 36) jsou znázorněny naměřené hodnoty vzorku s označením 1700 jemného homogenního povrchu. U tohoto vzorku nebylo při měření různými geometriemi dosaženo tak dobré shody v naměřených kolorimetrických hodnotách, jako u strukturního různobarevného vzorku D393. Jemný povrch tohoto vzorku (viz Obrázek 36 vpravo), který patřil mezi středně lesklé, způsobil vyšší nerovnoměrnost rozptylu odraženého světla a mezi jednotlivými měřicími geometriemi byl zaznamenán výrazný rozdíl. Tento povrch způsobil dominantnější odraz zrcadlové složky, tomu odpovídá podstatně nižší naměřená hodnota měrné světlosti L^* při osvětlení 45° a snímání v 0°. Rozdíly v měrné světlosti obvykle ovlivňují vnímanou barvu objektu.



Obrázek 36. Znárodnění naměřených kolorimetrických hodnot spektrofotometry u vzorku s jemným homogenním povrchem 1700 a snímek struktury vzorku.

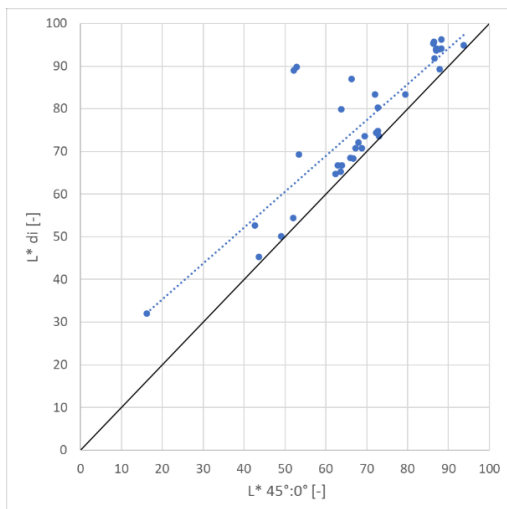
Výsledky měření spektrofotometry měrné světlosti L^*

Následující obrázky (viz Obrázek 37 a Obrázek 38) znázorňují graficky naměřené hodnoty měrné světlosti L^* všech 39 měřených ploch na 27 vzorcích. V následujících diagramech znázorňujících naměřené kolorimetrické hodnoty spektrofotometry, určuje diagonální linie směr ideální korelace, modrá tečkovaná směrnice ukazuje směr korelace naměřených hodnot. Graf (viz Obrázek 37) znázorňuje naměřené hodnoty při úhlovém osvětlení 45° a snímání při 0°

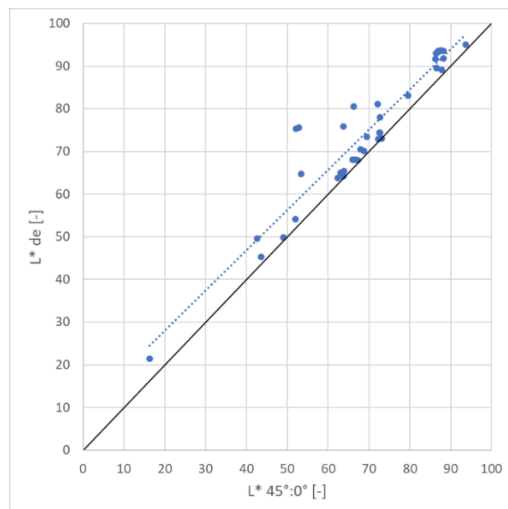
v závislosti na hodnotách měření celkového činitele spektrálního odrazu. Graf (viz Obrázek 38) znázorňuje naměřené hodnoty při úhlovém osvětlení 45° a snímání při 0° v závislosti na hodnotách měření poměrného činitele spektrálního odrazu.

Z grafů je patrné, že naměřené hodnoty měrné světlosti L^* celkového a poměrného činitele spektrálního odrazu byly vyšší oproti měření při úhlovém osvětlení 45° a snímání v 0° . Nejvyšší hodnoty byly podle předpokladu naměřeny při měření celkového činitele spektrálního odrazu. Oba grafy vykazují u dvou měřených ploch výraznější odchylky. Jednalo se o dva vzorky ze sady vzorků s jemným, homogenním povrchem, oba vzorky byly při měření lesku jako jediné zařazeny do kategorie „s vysokým leskem“. U těchto dvou vzorků bylo možné jen pouhým okometrickým šetřením shledat výrazný rozdíl v použitých efektních pigmentech, které nátěr obsahoval. Ve srovnání s ostatními vzorky této sady obsahovaly větší pigmenty s vysokým leskem. Jednalo se o vzorky s označením 5000 a 3500. Lze tedy předpokládat, že tyto částice způsobily vyšší míru zrcadlového odrazu, a proto bylo při snímání měrné světlosti L^* v úhlovém osvětlení 45° a snímání v 0° naměřeno podstatně nižších hodnot, než u difúzních geometrií měření celkového a poměrného činitele spektrálního odrazu.

Jednoznačně bylo možné stanovit, že největší odchylka od ideální linie korelace byla zaznamenána u sady vzorků s jemným homogenním povrchem, což bylo způsobeno vyšší mírou lesku. Se zvyšující se drsností narůstala míra rozptylu odráženého světla a snižovaly se rozdíly v naměřených hodnotách jednotlivými měřicími geometriemi.



Obrázek 37. Kolorimetrické hodnoty měrné světlosti L^* naměřené při úhlovém osvětlení 45° a snímání v 0° , v závislosti na hodnotách měření celkového činitele spektrálního odrazu.

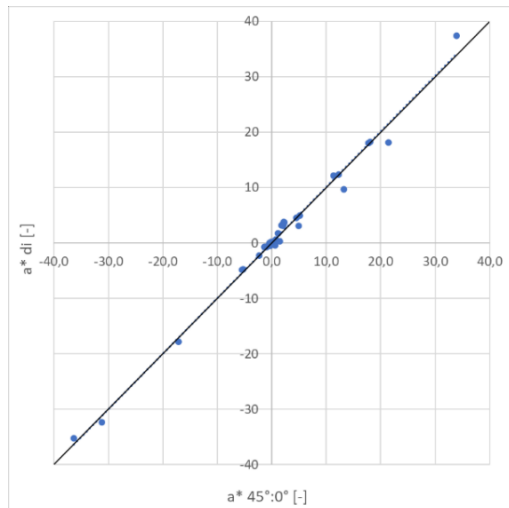


Obrázek 38. Kolorimetrické hodnoty měrné světlosti L^* naměřené při úhlovém osvětlení 45° a snímání v 0° , v závislosti na hodnotách měření poměrného činitele spektrálního odrazu.

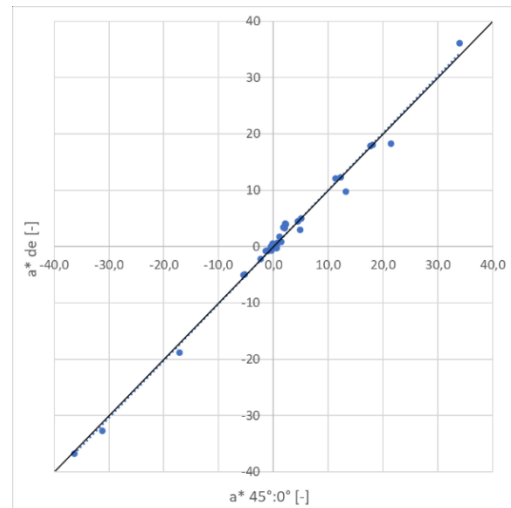
Výsledky měření spektrofotometry kolorimetrické souřadnice a^*

Další obrázky (viz Obrázek 39 a Obrázek 40) graficky znázorňují naměřené hodnoty kolorimetrické souřadnice a^* všech 39 měřených ploch na 27 vzorcích, při úhlovém osvětlení 45° a snímání v 0° v závislosti na celkovém činiteli spektrálního odrazu (viz Obrázek 39) a poměrném činiteli spektrálního odrazu (viz Obrázek 40).

Směrnice korelace naměřených hodnot kolorimetrické souřadnice a^* vykazuje téměř shodu s linií ideální korelace. Přesto u některých vzorků byly zaznamenány znatelné odchylky, zpravidla u vzorků jemných povrchů bez výrazné drsnosti s nižší hodnotou měrné světlosti L^* .



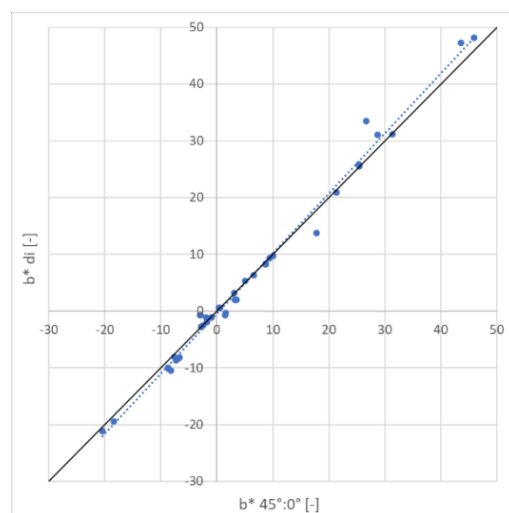
Obrázek 39. Kolorimetrické hodnoty barevné souřadnice a^* naměřené při úhlovém osvětlení 45° a snímání v 0° , v závislosti na hodnotách měření celkového činitele spektrálního odrazu.



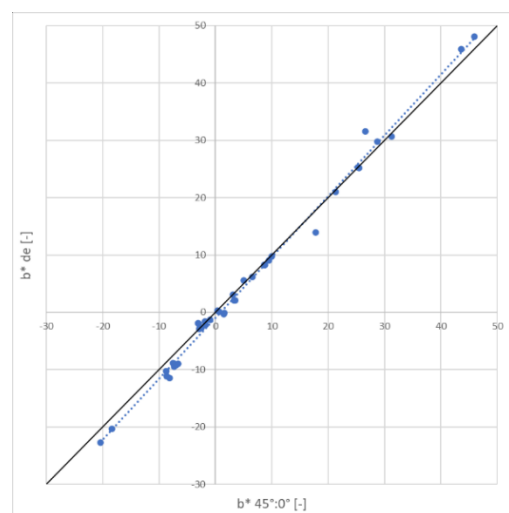
Obrázek 40. Kolorimetrické hodnoty barevné souřadnice a^* naměřené při úhlovém osvětlení 45° a snímání v 0° , v závislosti na hodnotách měření poměrného činitele spektrálního odrazu.

Výsledky měření spektrofotometry kolorimetrické souřadnice b^*

Další obrázky (viz Obrázek 41 a Obrázek 42) graficky znázorňují naměřené hodnoty kolorimetrické souřadnice b^* všech 39 měřených ploch na 27 vzorcích, při úhlovém osvětlení 45° a snímání v 0° v závislosti na celkovém činiteli spektrálního odrazu (viz Obrázek 41) a poměrném činiteli spektrálního odrazu (viz Obrázek 42). Směrnice korelace naměřených hodnot kolorimetrické souřadnice b^* je lehce vyššího sklonu, ale vykazuje též velmi dobrou shodu s linií ideální korelace. Podobně jako u kolorimetrické souřadnice a^* byla shoda ve výsledných měřeních jednotlivými spektrofotometry závislá na drsnosti povrchů vzorků, výši měrné světlosti L^* a lesku. Proto byly největší odchylky u vzorků s jemným homogenním povrchem, které byly vyššího lesku.



Obrázek 41. Kolorimetrické hodnoty barevné souřadnice b^* naměřené při úhlovém osvětlení 45° a snímání v 0° , v závislosti na hodnotách měření celkového činitele spektrálního odrazu.



Obrázek 42. Kolorimetrické hodnoty barevné souřadnice b^* naměřené při úhlovém osvětlení 45° a snímání v 0° , v závislosti na hodnotách měření poměrného činitele spektrálního odrazu.

7 Vliv geometrie osvětlování obrazovou analýzou a jeho porovnání s testovanými spektrofotometry

Použití obrazové analýzy pro kolorimetrické účely je výhodné především pro dostupnost techniky z cenového hlediska, ale také např. pro možnost použití při měření objektů, kde je využití spektrofotometrů obtížné nebo nemožné.

7.1 Postup zpracování

Metoda snímání vzorků obrazovou analýzou

Studie systému obrazové analýzy byla prováděna pomocí přístroje LCAM Imager, vyvinutým v laboratořích měření barevnosti a vzhledu LCAM TUL. Systém obrazové analýzy LCAM IMAGER je vhodný pro vyhodnocení barvy materiálů s proměnlivým povrchem, malých barevných vzorů, goniochromních a kovových barev.

Pro tuto studii byly rovněž použity zmíněné tři sady vzorků. LCAM Imager je sestaven z boxu pro umístění měřeného vzorku, který je vybaven různými druhy osvětlení. Do stropu boxu je zabudován snímací aparát, jímž jsou pořizovány snímky vzorků. Vzorek ke snímání byl umístěn na otočnou plošinu připevněnou na dno boxu opatřenou úhlovou stupnicí. K boxu je připojen PC do kterého jsou snímky vzorků automaticky odesílány. Pomocí PC se nastavují potřebné parametry pro zhotovení kvalitního snímku pod příslušným druhem osvětlení. Pro tuto studii byly vzorky měřeny pod dvěma druhy osvětlení: D50, D65. Při osvětlení D50 bylo měření prováděno pod osvětlením z úhlů 45° ze dvou světelných lišt umístěných proti sobě, snímání obrazu v 0°. Při osvětlení D65 byla použita difúzní geometrie osvětlení a snímání v 0°. Nastavené parametry při snímání vzorků pod osvětlením D50 a D65 (viz Tabulka 4).

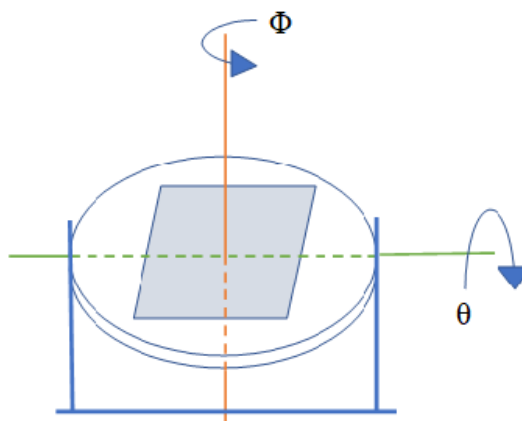
Tabulka 4. Nastavené parametry fotoaparátu při snímání vzorků.

	D50	D65
Čas expozice [s]	1/10	1/8
Clona [F]	10	10
Teplota světla [K]	5000	6500
ISO citlivost [-]	1000	2000

Pro snímání vzorků byly použity tyto druhy geometrií ve smyslu funkce BRDF (viz Rovnice 33):

- Natáčení vzorku v úhlu rotace Φ , tedy ve vertikální ose (viz Obrázek 43 a Obrázek 21): vzorky byly snímány v úhlech natáčení 0°, 90°, 180°, 270° a ještě jednou 0° (značené 0°R), pro kontrolu měření. Takto byly snímky pořizeny pro všechny vzorky pod osvětlením D50 a D65.
- Natáčení vzorku ve dvou úhlech. Ve výše popsáném úhlu Φ a v horizontální ose ovlivňující velikost úhlu θ (viz Obrázek 43 a Obrázek 21). Natáčení vzorku v úhlu Φ probíhalo stejným výše popsáným způsobem. Dále byly vzorky snímány při naklání roviny vzorku v ose horizontální v úhlech naklonění 0°, 10°, 20°, 30°, 40°. Zároveň

v každém z úhlů naklonění byl vzorek nasnímán při otáčení ve vertikální ose v úhlech $\Phi = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ 0°R. Naklonění vzorku v horizontální ose ovlivnilo velikost úhlů θ (viz Obrázek 54 a Obrázek 55).



Obrázek 43. Znárodnění natáčení vzorků ve vertikální ose (změna úhlů Φ) horizontální ose (změna úhlů θ).

Postup pro získání kolorimetrických souřadnic L^* , a^* , b^* z obrazové analýzy

Po nasnímání vzorků pod požadovaným osvětlením v náležité geometrii, bylo třeba z pořízených snímků získat hodnoty kolorimetrických souřadnic L^* , a^* , b^* . Pro jejich získání byl použit program MATLAB, disponující funkcí tyto hodnoty generovat. V programu MATLAB bylo třeba označit pomocí čtyř borů prostor na snímku vzorku, ze kterého bylo požadováno získat hodnoty L^* , a^* , b^* . Na každé ploše vybrané k hodnocení bylo provedeno opakovaně deset měření. Z těchto deseti měření byla vypočítána průměrná hodnota, která byla pro studii použita. Kontrola variability byla prováděna pomocí směrodatné odchylky. U jednobarevných vzorků byla k měření vybírána celá plocha vzorků, u vícebarevných vzorků byla měřena barevnost celé plochy a jednotlivých barevných odstínů na ploše vzorku. Nebylo možné provést měření u všech barevných odstínů, které různobarevné vzorky obsahovaly, některé plochy byly příliš malé k přesnému označení a u některých vzorků došlo při změně geometrie snímání k problému rozlišení hranice přechodu mezi barevnými odstíny a z výsledných hodnot bylo jasně patrné, že při označování ploch docházelo k velkým nepřesnostem. Tato měření byla ze studie vyjmuta. Při správném označení barevného prostoru určeného k měření byly při opakování měření hodnoty téměř totožné, směrodatná odchylka je k absolutním hodnotám marginálně nízká.

7.2 Vliv geometrie osvětlování při natáčení vzorku ve vertikální ose

Studie vlivu geometrie osvětlování při natáčení vzorku ve vertikální ose, tedy v úhlu Φ , byla prováděna nasnímáním každého vzorku v základní poloze $\Phi = 0^\circ$, další snímky byly pořízeny vždy po otočení plošinou se vzorkem kolem vertikální osy o 90° , tedy v úhlech $\Phi = 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ a pro kontrolu měření bylo provedeno opakované měření v 0° (značené 0°R). Takto byly vzorky nasnímány pod osvětlením D50 a D65, výsledné hodnoty L^* , a^* , b^* , naměřené pod oběma druhy osvětlení všech měřených ploch vzorků jsou uvedeny v příloze č.4.

Pro studii vlivu geometrie osvětlování při natáčení vzorků v úhlech Φ , byly použity hodnoty naměřené ze snímků vzorků pod osvětlením D50. Výsledky vzorků nasnímaných pod osvětlením D65 byly použity k porovnání s hodnotami naměřenými spektrofotometry.

7.2.1 Výsledky měření při otáčení vzorků kolem vertikální osy

Výsledky měření textilních vzorků

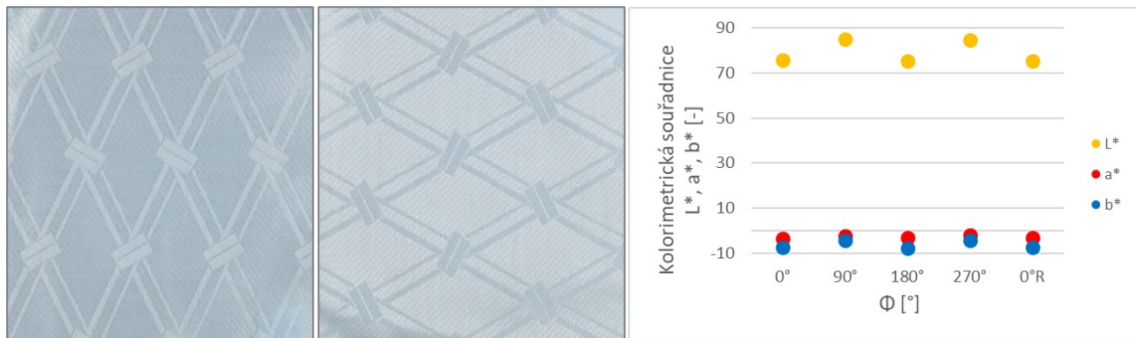
Z naměřených hodnot textilních vzorků byla zřetelná závislost na vazbě tkaniny. Textilní vzorky vykazovaly nejčastěji ze tří testovaných sad, goniochromní prvky, při otáčení vzorku v úhlech Φ . U vzorků s označením Tibet 1, Tibet 2 a Tibet 3, pro které byly při tkaní použity odlišné barevné odstíny osnovních a útkových nití, docházelo při změně směru osnovních/útkových nití při snímání vzorku k rozostření vzoru. Přechody vzoru nebyly jasně zřetelné a působily rozmazaně, jak je možné vidět na snímcích vzorků Tibet 2 (viz Obrázek 44). Na stejném obrázku vpravo je graficky znázorněn průběh změn hodnot kolorimetrických souřadnic vzoru kosočtvercového tvaru ve středu vzorku, po otáčení vzorkem v úhlu Φ o 90° . Z grafu je jasně patrné, že největší změny nastaly v měrné světlosti L^* , na barevných souřadnicích a^* , b^* došlo jen k nepatrným změnám. Jasnější a zřetelnější barvy byly zaznamenány u poloh, ve kterých byla naměřena nižší hodnota měrné světlosti L^* . To bylo způsobeno vazbou tkaniny a tím, že byly tkaniny utkány z různě barevných nití v osnově a útku. Při otočení vzorkem kolem vertikální osy docházelo ke změně směru osnovních a útkových nití, to zapříčinilo změnu směru odražených paprsků dopadajícího světla. V poloze vzorků, kdy byla naměřena vyšší měrná světlost L^* , docházelo k vyšší hustotě odražených světelných paprsků směrem ke snímacímu aparátu a zvýšená míra odraženého lesku směrem do snímacího aparátu způsobila zastínění barev a obraz vzorku působil běleji (viz Obrázek 30, který znázorňuje příklad možných změn v odrazu světla podle roviny dopadu u tkaných textilií).



Obrázek 44. Textilní vzorek Tibet 2. Vizualní a numerický průběh změn při otáčení vzorku v úhlu Φ .

Ostatní textilní vzorky, které byly utkány ze stejného barevného odstínu osnovních i útkových nití, vykazovaly taktéž goniochromní prvky při otočení vzorku v úhlu Φ , ovšem vzor zůstával stále jasný a zřetelný (viz Obrázek 45). Vzorků těchto tkanin bylo dosaženo kombinací vazeb způsobujících různé stupně lesku. Při otáčení vzorkem v úhlu Φ došlo ke změně lesklého vzhledu na matný a naopak. Graf vpravo (viz Obrázek 45) znázorňuje průběh změn hodnot kolorimetrických souřadnic vzorku Apollo 1 při otáčení vzorku v úhlu Φ . Je zde patrné, že k největším změnám došlo v měrné světlosti L^* , a tak tomu bylo u všech měřených vzorků. Je vidět také výraznější změna oproti výsledkům vzorku Tibet 1 u kolorimetrické souřadnice b^* .

Pokud docházelo ke změnám u kolorimetrických souřadnic a^* , b^* , zpravidla se hodnoty barevných souřadnic snížily při zvýšení lesku a naopak.



Obrázek 45. Textilní vzorek Apollo 1. Vizualizace a numerický průběh změn při otáčení vzorku v úhlu Φ .

Výsledky měření strukturních vzorků

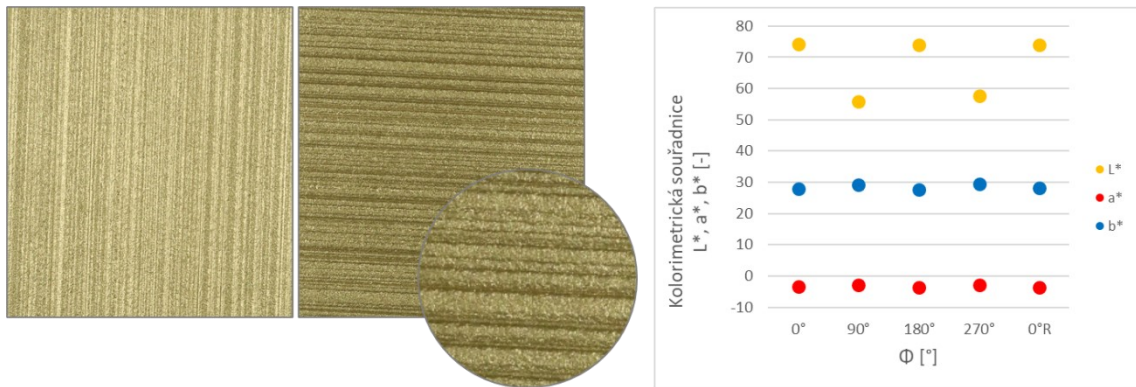
Výsledky měření sady strukturních vzorků vykazovaly závislost především na orientaci strukturního vzoru. U strukturních vzorků docházelo též k největším změnám v měrné světlosti L^* , zde byly u některých vzorků zaznamenány poměrně velké rozdíly, až 18 jednotek. U barevných souřadnic a^* , b^* byly zaznamenány nepatrně nižší změny ve srovnání s textilními vzorky.

Obrázek 46 znázorňuje snímky strukturního vzorku s označením 1320, v kruhovém obrázku je zvětšený obraz strukturního vzoru. V pravé části obrázku je grafické znázornění průběhu změn naměřených hodnot kolorimetrických souřadnic v jednotlivých úhlech Φ při otáčení vzorku. Vzor byl tvořen strukturou hrubých pruhů jednoho směru a výrazně jemnějšími proužky v kolmém směru k pruhům hrubým.



Obrázek 46. Strukturní vzorek 1320. Vizualizace a numerický průběh změn při otáčení vzorku v úhlu Φ .

Obrázek 47 znázorňuje snímky strukturního vzorku s označením 9355, kruhová část vyobrazuje zvětšený obraz vzorku. Pravá část obrázku zobrazuje grafický průběh změn hodnot kolorimetrických souřadnic při otáčení vzorku v úhlu Φ . Strukturní vzor byl tvořen hrubými pruhů jednoho směru, povrch pruhů nebyl hladký, ale velmi jemně zvrásněn. Zcela dominantní zde byla pruhová struktura v jednom směru.



Obrázek 47. Strukturní vzorek 9355. Vizuální a numerický průběh změn při otáčení vzorku v úhlu Φ .

Přesto-že oba vzorky na výše uvedených obrázcích měly strukturní vzory podobného charakteru, jejich vlastnosti při otáčení vzorkem kolem vertikální osy byly značně odlišné. U vzorku (viz Obrázek 47) byly zaznamenány výraznější dichroické změny, což je jednoznačně patrné ze snímků vzorku i z hodnot získaných z měření graficky znázorněných na témže obrázku. U vzorku 1320 (viz Obrázek 46) byly jak vizuální, tak naměřené rozdíly podstatně menší.

Ostatní strukturní vzorky byly různých struktur jak ve velikosti hrubosti, směřů i geometrických tvarů strukturních vzorů. Srovnání výsledků všech strukturních vzorků poukazuje na to, že čím více ireversibilní byla orientace struktury, tím výraznější byly změny, při otáčení vzorku kolem vertikální osy.

Výsledky měření vzorků s jemným homogenním povrchem

Výsledky měření sady vzorků s jemným homogenním povrchem si byly na rozdíl od předchozích dvou sad velmi podobné u všech testovaných vzorků. Obrázek 48 zobrazuje snímky a grafický průběh změn vzorku s jemným homogenním povrchem 1320 v poloze $\Phi = 0^\circ$ a při otáčení vzorkem v úhlu Φ o 90° . Z obrázku je patrné, že ani vizuálně, ani číselně nedošlo při natáčení vzorku k patrným změnám. Podobné výsledky byly zaznamenány u všech vzorků jemného homogenního povrchu. Znamená to tedy, že při otočení vzorkem kolem vertikální osy nedocházelo k zásadním změnám ve směru odraženého světla.



Obrázek 48. Vzorek s jemným homogenním povrchem 1320. Vizuální a numerický průběh změn při otáčení vzorku v úhlu Φ .

7.3 Vliv geometrie osvětlování při natáčení vzorku ve dvou osách, vertikální a horizontální

Jak již bylo zmíněno, otáčení vzorku kolem vertikální osy znamená podle BRDF (viz rovnice 33) změnu v úhlu Φ . Naklonění vzorku v horizontální ose ovlivňuje velikost úhlů θ_0 a θ_i . Úhly θ_0 a θ_i jsou si podle zákona o odrazu světla rovny při každém z úhlů naklonění v horizontální ose, ale mění se jejich velikost (viz Obrázek 54 a Obrázek 55).

Metoda snímání vzorků obrazovou analýzou, při jejich otáčení kolem vertikální a horizontální osy

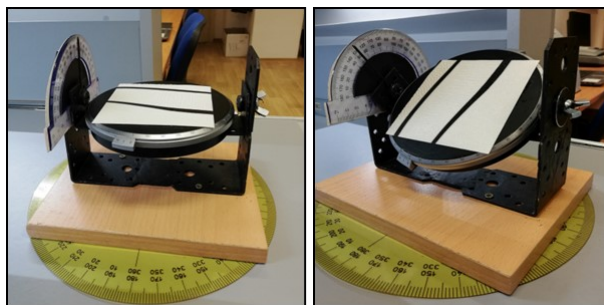
Studie vlivu geometrie osvětlování při natáčení vzorku v obou osách (viz Obrázek 43) byla prováděna rovněž pomocí přístroje LCAM IMAGER. Snímky byly pořízeny pod osvětlením D50. Otočná plošina pro umístění vzorku byla ze dna snímacího boxu vyjmuta a zakomponována do stolku vyvinutého pro tento způsob měření. V tomto stolku je možné plošinou pro umístění vzorku otáčet ve smyslu funkce BRDF popsané v kapitole 4.1.1 kolem vertikální osy (úhel Φ) a naklánět jí podél horizontální osy (změna velikosti úhlů θ), přičemž horizontální osa naklánění prochází středem plošiny ve výšce plochy, na kterou se vzorek pro snímání pokládá. Z boční strany je úhloměr pro nastavení požadovaného úhlu naklonění. Jelikož je plocha pro umístění vzorku vyvýšena, aby jí bylo možné naklánět, výsledky z měření v úhlu naklonění 0° nejsou totožné s výsledky z měření v úhlu naklonění 0° , která probíhala na plošině umístěné na dně snímacího boxu. Vyvýšení plochy způsobilo změnu velikosti úhlu osvětlení vzorku. Osvětlovací lišty jsou v boxu pevně umístěny na protilehlých bočních stranách podélně tak, aby při umístění vzorku na dně boxu, byly vzorky osvětlovány pod úhlem 45° a snímány v 0° . Vyvýšením plošiny pro umístění vzorku došlo ke změně úhlu osvětlení vzorku na přibližně 55° . Úhel snímání zůstal 0° . Jelikož došlo ke změně velikosti úhlu osvětlení vlivem vyvýšení plochy pro umístění vzorku, a ne vlivem změny polohy osvětlení, mění se úhel θ , ale místo, do kterého je světelný paprsek ve snímacím boxu odrážen zůstalo přibližně stejné. Stále se zrcadlová složka světelného paprsku příchozího z jednoho směru osvětlení odrážela do směru osvětlení protilehlého.

První osa natáčení – vertikální (úhel Φ):

Výše popsaný způsob otáčení plochou s umístěným vzorkem po devadesáti stupních kolem vertikální osy a snímání vzorku v úhlech $\Phi = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ, 0^\circ R$.

Druhá osa naklánění – horizontální (ovlivňující velikost úhlů θ):

Naklánění plochy s umístěným vzorkem podél osy procházející jejím středem v horizontální rovině (viz Obrázek 49). Vzorky byly snímány v úhlech naklonění $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$.



Obrázek 49. Podstavec pro snímání vzorků při natáčení ve dvou osách.

Každý vzorek byl snímán nejprve v úhlu naklonění 0° , v tomto úhlu naklonění bylo pořízeno 5 snímků při natáčení vzorku kolem vertikální osy v úhlech $\Phi = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ, 0^\circ\text{R}$. Následně byl nastaven úhel naklonění v horizontální ose na 10° a opět bylo pořízeno 5 snímků vzorku při otáčení kolem vertikální osy v úhlech $\Phi = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ, 0^\circ\text{R}$. Takto byl postup opakován po 10° až do úhlu naklonění 40° .

Pro získání hodnot L^* , a^* , b^* z pořízených snímků, byl použit stejný postup jako v části „Vliv geometrie osvětlování při natáčení vzorku v úhlu Φ , (kapitola 7.2)“ s tím rozdílem, že pro výzkum byly použity hodnoty naměřené z celých ploch vzorků. Hodnoty jednotlivých odstínů barev vzorů u vícebarevných vzorků nebyly samostatně měřeny, jelikož u snímků pořízených nakloněním v horizontální ose, bylo z důvodu špatného rozlišení vzoru problematické správné označení požadované plochy určené k měření. Výsledky z měření všech vzorků ve všech měřených úhlech otáčení kolem vertikální a horizontální osy obsahuje příloha č. 5.

Pro hodnocení změn kolorimetrických souřadnic L^* , a^* , b^* při naklání vzorku v horizontální ose, byly spočítány aritmetické průměry hodnot z měření při otáčení vzorku v úhlu Φ (tedy z úhlů rotace $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ a 0°R), v příslušném úhlu naklonění vzorku v horizontální rovině. Pro každý úhel naklonění ($0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$), tak byla získána jedna hodnota z pěti měření. Studie vlivu geometrie při natáčení vzorků ve dvou osách je vhodná k ověření goniochromních charakteristik vzorků, které jsou požadovány pro ověření účinnosti diferenční rovnice v následující části práce.

7.3.1 Výsledky vlivu změny geometrie osvětlování při otáčení vzorku v ose vertikální, v různých stupních naklonění osy horizontální

V této části bude popsáno, k jakým změnám docházelo při otáčení vzorku kolem vertikální osy v jednotlivých úhlech naklonění vzorku $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ a 40° . K jakým změnám docházelo mezi jednotlivými stupni naklonění vzorku osy horizontální, bude popsáno v následující části práce.

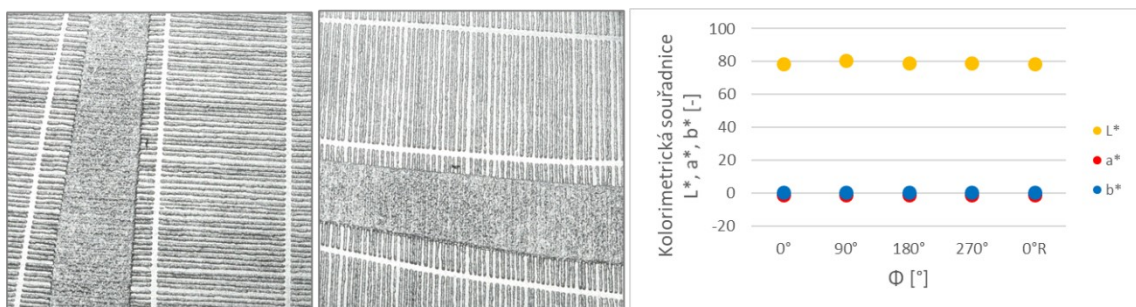
Výsledky textilních a strukturních vzorků

Textilní a strukturní vzorky vykazovaly podobný trend při změnách poloh vzorků. Největší změny při otáčení v úhlech Φ z testovaných úhlů naklonění horizontální osy, byly zaznamenány zpravidla v úhlu naklonění 0° (viz Obrázek 50). Výsledky z většiny měřených textilních a strukturních vzorků signalizovaly tendenci snižujících se změn při otáčení vzorku v úhlu Φ při zvyšujícím se úhlu naklonění vzorku v horizontální ose (viz Obrázek 51). Tento jev platil až do

úhlu naklonění horizontální osy 30° , při dalším naklání vzorků se vizuální rozdíly při otáčení vzorkem v úhlech Φ opět zvyšovaly.



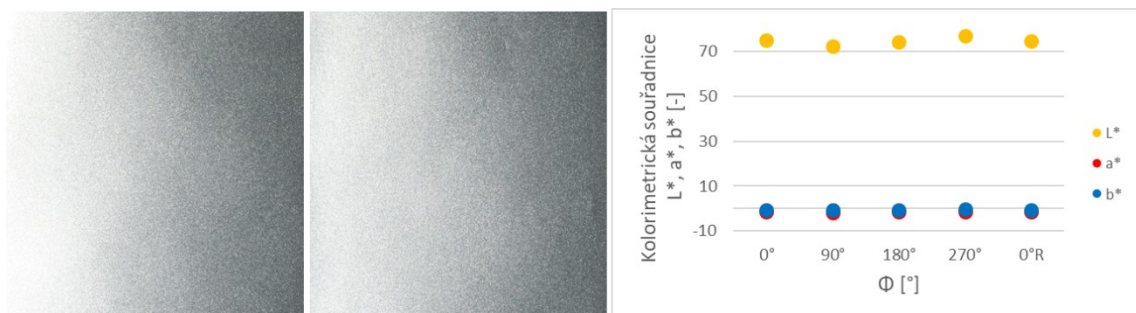
Obrázek 50. Strukturální vzorek 3500. Průběh změn vizuálních a kolorimetrických hodnot při změně úhlu Φ o 90° v úhlu naklonění horizontální roviny 0° .



Obrázek 51. Strukturální vzorek 3500. Průběh změn vizuálních a kolorimetrických hodnot při změně úhlu Φ o 90° v úhlu naklonění horizontální roviny 30° .

Výsledky vzorků s jemným homogenním povrchem

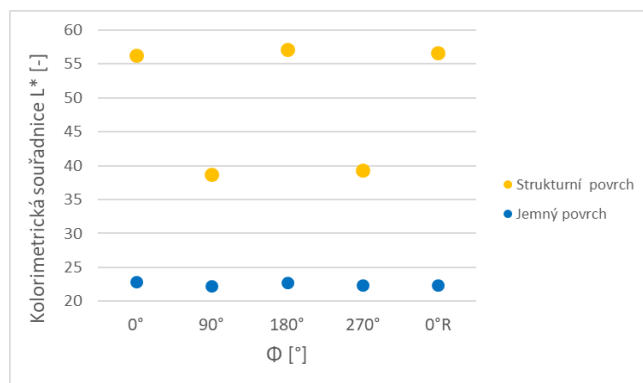
U sady vzorků s jemným homogenním povrchem, byly zaznamenány oproti textilním a strukturálním vzorkům rozdílné výsledky. Stejně jako v předchozí studii, nebyly při natáčení vzorků s jemným povrchem v úhlu Φ zaregistrovány nápadné rozdíly ani vizuální, ani číselné. Narozdíl od textilní a strukturální sady vzorků, u kterých byly největší rozdíly při změně úhlu Φ zaznamenány v úhlu naklonění horizontální osy 0° , u sady vzorků s jemným povrchem byly zaznamenány největší změny při otáčení vzorkem v úhlu Φ v úhlu naklonění horizontální osy 20° . Ani tak ale nebyly rozdíly velké a vizuálně nebyly pozorovatelné. Obrázek 52 znázorňuje vizuální a číselné změny u vzorku s jemným povrchem s označením 5000, vykazující jedny z největších rozdílů ze vzorků této sady při změně v úhlech Φ po 90° a úhlu naklonění horizontální osy 20° .



Obrázek 52. Vzorek 5000 s jemným homogenním povrchem. Průběh změn vizuálních a kolorimetrických hodnot při změně úhlu Φ o 90° v úhlu naklonění horizontální roviny 20° .

Vzorky s jemným homogenním povrchem vykazovaly ve srovnání s textilními a strukturními vzorky odlišný trend ve změnách kolorimetrických hodnot, a to především v měrné světlosti L^* při otáčení vzorků v úhlu Φ . U textilních a strukturních vzorků docházelo zpravidla při změně úhlu Φ o 90° především ke změně v měrné světlosti L^* . U textilních vzorků je to dáno pravoúhlou soustavou osnovních a útkových nití, která způsobila v jednom z těchto směrů vyšší míru ireversibility, danou vazbou tkaniny. Testované strukturní vzorky vykazovaly též větší či menší míru ireversibility strukturního vzoru. To způsobilo pravidelnou změnu v odrazu světla právě při změně úhlu Φ o 90° . U vzorků s jemným homogenním povrchem k tomuto jevu docházelo nejčastěji až při otočení vzorkem v úhlu Φ o 180° . U těchto vzorků byla drsnost stejnoměrná po celé ploše vzorků a dichroické chování vzorků způsobovaly především efektní pigmenty, jejich velikost, tvar, uspořádání a hustota.

Efektní pigmenty byly použity i v barevných nánosech sady strukturních vzorků, ale v těchto případech měl vliv struktury vzorků na změnu vzhledu, a tedy i na změnu kolorimetrických hodnot při otáčení vzorku v úhlu Φ podstatně významnější vliv. Vliv struktury vzorku na změny v měrné světlosti L^* znázorňuje následující obrázek (viz Obrázek 53). Jasně patrné jsou změny v měrné světlosti při otáčení vzorkem v úhlu Φ po 90° u dvou vzorků totožného barevného nánosu, ale odlišných povrchů (strukturní a jemný).



Obrázek 53. Průběh změn měrné světlosti L^* při otáčení vzorku v úhlu Φ u strukturního vzorku 3500 a vzorku s jemným homogenním povrchem 3500.

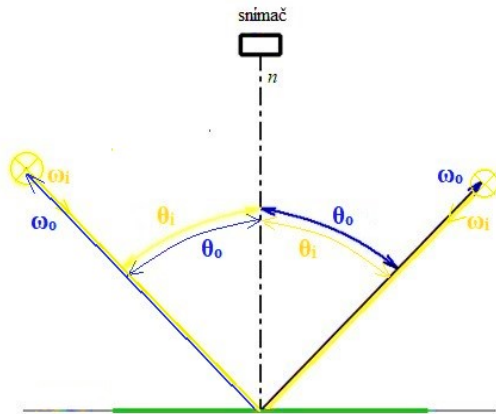
7.3.2 Výsledky vlivu změny geometrie osvětlování na kolorimetrické souřadnice L^* , a^* b^* , při natáčení vzorku v horizontální ose

Změna odrazu světelného paprsku při naklonění vzorku v horizontální ose

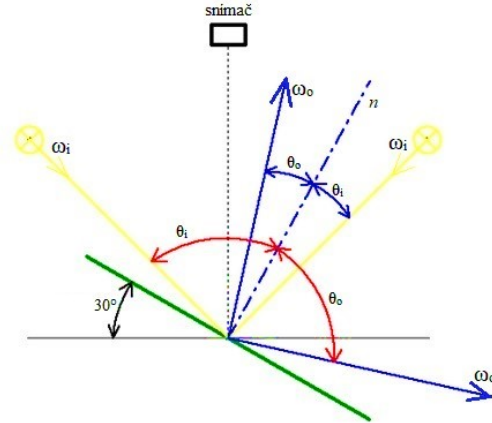
Při naklání vzorku se mění směr odraženého světla, což má významný vliv na výsledný barevný efekt. Obrázek 54 znázorňuje zrcadlový odraz světla v základní poloze vzorku 0° . Jelikož vzorek je osvětlován z protilehlých stran ve stejných úhlech, světelný paprsek se při zrcadlovém odrazu odráží ve stejném úhlu jako příchozí světelný paprsek $\theta_o = \theta_i$. V případě zrcadlového odrazu se tedy světelný paprsek odráží směrem do osvětlení na protilehlé straně.

Obrázek 55 znázorňuje změnu v odrazu světla při naklonění vzorku v horizontální rovině 30° . Tyto obrázky zobrazují odraz světla od ideálního zrcadlového povrchu. Jelikož testované vzorky nedisponují ideálním zrcadlovým povrchem, k takto přesnému odrazu světla nedochází, proto je nutno brát v úvahu malé odchylky od tohoto vyobrazení. Směr odrazu světla u testovaných vzorků ovlivňuje propustnost světla, povrch, struktura vzorku a podpovrchový

odraz světla. U drsnějších povrchů dochází k více rozptýlenému odrazu. To znamená že zrcadlová složka odrazu je méně dominantní, u hladších povrchů je odraz bližší zrcadlovému odrazu a dominance zrcadlové složky odrazu se zvyšuje. Další složkou ovlivňující směr odraženého světla je velikost, tvar, struktura a uspořádání pigmentu (viz Obrázek 26).



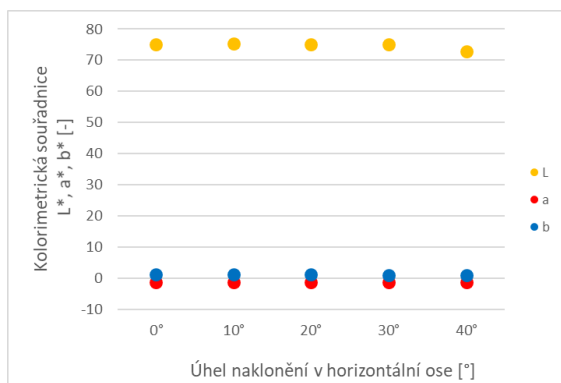
Obrázek 54. Odraz světla při naklání vzorku v poloze horizontální osy 0° .



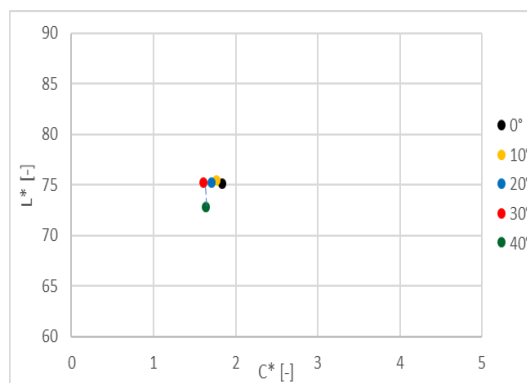
Obrázek 55. Odraz světla při naklonění vzorku v horizontální ose 30° .

Vliv změny geometrie osvětlování při natáčení vzorku v horizontální ose na měrnou světlost L^*

U všech vzorků s výjimkou jednoho byla zaznamenána nejnižší měrná světlost L^* v úhlu naklonění v horizontální ose 0° a nejvyšší hodnota měrné světlosti v úhlu naklonění vzorku 30° . Jediný vzorek (strukturní E001), kde byla tendence růstu měrné světlosti odlišná, nevykazoval při naklání vzorku v horizontální ose výrazné odchylky v žádné z kolorimetrických souřadnic L^* , a^* , b^* , (viz Obrázek 56 a Obrázek 57). Nelze tedy jednoznačně stanovit, že nejvyšší hodnota měrné světlosti L^* naměřená u tohoto vzorku při naklonění vzorku v úhlu 10° je určující. Z diagramů je patrné, že nárůst v měrné světlosti L^* při naklonění vzorku v úhlu 10° nebyl patrný. V úhlu naklonění 40° byl zaznamenán mírný pokles měrné světlosti L^* , to bylo způsobeno změnou úhlu odraženého světla. Až v tomto úhlu došlo ke snížení množství odraženého světla směrem ke snímacímu aparátu. Struktura tohoto vzorku byla velmi různorodá, každý druh strukturního povrchu tohoto vzorku odráželo světlo jiným směrem i v odlišné míře a při změnách úhlu naklonění vzorku tak docházelo ke kompenzaci sníženého odraženého světla směrem do snímače z jednoho druhu povrchu struktury zvýšením množství odraženého světla jiným typem strukturního povrchu. V sytosti barvy C^* nebyly zaznamenány nápadné výkyvy.



Obrázek 56. Znáznornění průběhu změn kolorimetrických hodnot L^* , a^* , b^* strukturního vzorku E001 při natáčení vzorku v horizontální ose.



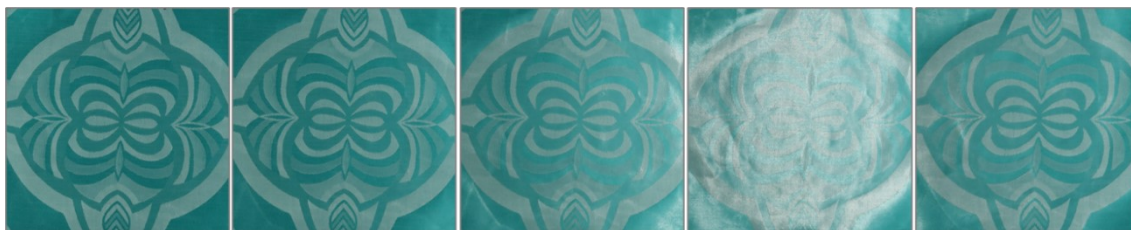
Obrázek 57. Znáznornění průběhu změn sytosti barvy C^* v závislosti na měrné světlosti L^* strukturního vzorku E001, při natáčení vzorku v horizontální ose.

Celkově lze stanovit, že při naklánění vzorků v horizontální ose docházelo postupně k narůstání měrné světlosti L^* . Zvyšovala se až do úhlu naklonění 30° , kdy dosáhla vrcholu a s dalším nakláněním měrná světlost klesala (viz Obrázek 58, Obrázek 59 a Obrázek 60). U sady vzorků s jemným homogenním povrchem, kde nebyly u žádného vzorku při změně úhlu Φ zaznamenány výrazné odchylky, byly při naklánění horizontální osy naměřeny největší difference (viz Obrázek 61, Obrázek 62, Obrázek 63).

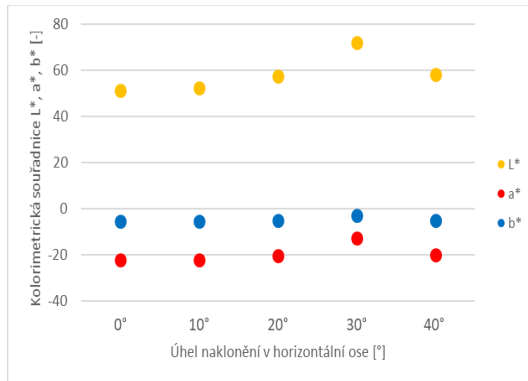
Výsledky hodnocení vlivu změny geometrie osvětlování při natáčení vzorku v horizontální ose na kolorimetrické souřadnice a^* , b^* .

U kolorimetrických souřadnic a^* , b^* nebyl průběh při naklánění vzorku v horizontální ose tak jednoznačný jako u měrné světlosti L^* . Intenzita měrné světlosti L^* obvykle významně ovlivňuje kolorimetrické souřadnice a^*b^* . Sada textilních a strukturních vzorků vykazovala podobný trend při změnách úhlu naklonění, kde byla největší sytost barevného tónu zpravidla v úhlu naklonění 0° a nejnižší sytosti bylo většinou naměřeno v úhlu naklonění 30° (viz Obrázek 58, Obrázek 59). Při narůstání měrné světlosti L^* docházelo k postupnému poklesu sytosti barvy C^* až do úhlu naklonění 30° , kdy sytost vlivem výrazného nárůstu měrné světlosti podstatně klesla. Příčinou byla velká míra lesku odraženého směrem do snímacího aparátu. Vysoký lesk tak překryl barvu (viz Obrázek 60). V ostatních stupních naklonění byl lesk eliminován.

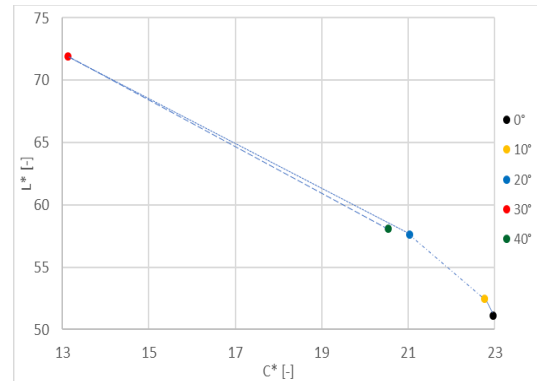
Jak již bylo zmíněno, sada strukturních vzorků vykazovala podobný trend jako textilní vzorky, ovšem s menší dominancí. To bylo zapříčiněno větší mírou drsnosti vzorků, tedy vyšším rozptylem odraženého světla.



Obrázek 58. Snímky vzorku Tibet 1.
 Úhel $\Phi = 0^\circ$, úhel naklonění horizontální roviny zleva: 0° , 10° , 20° , 30° , 40° .



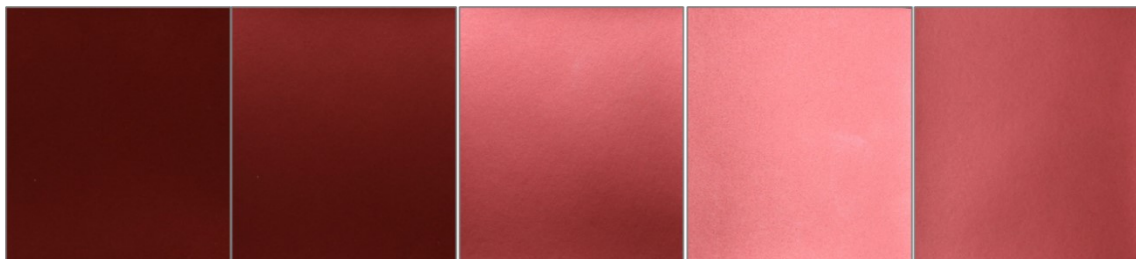
Obrázek 59. Znáznornění průběhu změn kolorimetrických hodnot L^* , a^* , b^* textilního vzorku Tibet 1, při naklání vzorku v horizontální ose.



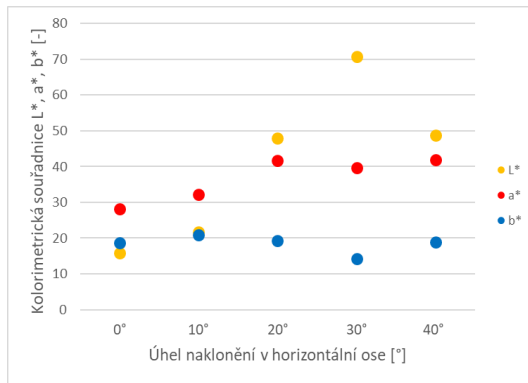
Obrázek 60. Znáznornění průběhu změn sytosti barvy C^* v závislosti na měrné světlosti L^* textilního vzorku Tibet 1, při naklání vzorku v horizontální ose.

U sady vzorků s jemným homogenním povrchem lze stanovit, že nejnižší sytosti barevných odstínů byly zpravidla naměřeny v úhlu naklonění horizontální roviny 30° . V jakém z testovaných úhlů naklonění vzorku v horizontální rovině dosahovala sytost barevného tónu převážně nejvyšší hodnoty, nelze jednoznačně určit. Na

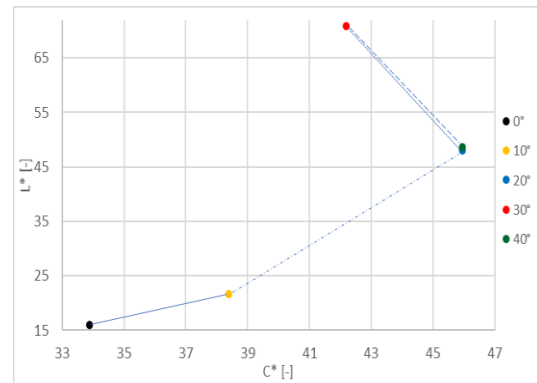
Obrázek 61 je zaznamenán dichroický jev u vzorku s jemným homogenním povrchem s označením 1542. Graf (viz Obrázek 62) znázorňuje průběh změn kolorimetrických hodnot L^* , a^* , b^* při naklání vzorku. U tohoto vzorku došlo ke strmému nárůstu měrné světlosti L^* až do úhlu naklonění 30° , při dalším naklonění měrná světlost klesala. Z grafu (viz Obrázek 63) je zřejmé, že u tohoto vzorku docházelo do úhlu naklonění 20° také ke zvyšování sytosti barvy C^* . U sady vzorků s jemným homogenním povrchem nedocházelo při otáčení vzorku v úhlu Φ k žádným výrazným změnám, ale při změnách úhlu naklonění v horizontální ose, byly u této sady vzorků jednoznačně naměřeny největší změny. To zapříčinil jemný homogenní povrch vzorků, od kterého se světelné paprsky odráží ve větší míře ve směru zrcadlového odrazu než u textilních a strukturních vzorků a také větší míra lesku těchto vzorků. Dva vzorky (3500 a 5000), které byly při měření lesku zařazeny do kategorie materiálů s vysokým leskem, vykazovaly největší rozdíly při naklání vzorků. U těchto vzorků byla naměřena měrná světlost L^* při úhlu naklonění v horizontální ose 30° téměř nejvyšší možná hodnota 99,98 [-] a na kolorimetrických souřadnicích a^* , b^* tak byly zaznamenány hodnoty takřka nulové (viz Obrázek 64). Vliv lesku zde byl tak velký, že naprosto překryl barvu vzorků. Příčinou tohoto jevu je druh použitých efektních pigmentů, který způsobuje výraznou míru složky zrcadlového odrazu, který vlivem naklonění vzorku směřoval směrem do snímače.



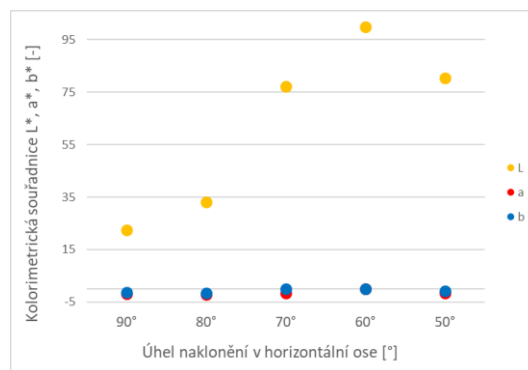
Obrázek 61. Snímky vzorku s jemným homogenním povrchem 1542. Úhel $\Phi = 0^\circ$, úhel naklonění vzorku v horizontální ose zleva: 0° , 10° , 20° , 30° , 40° .



Obrázek 62. Znázornění průběhu změn kolorimetrických hodnot L^* , a^* , b^* vzorku s jemným homogenním povrchem 1542, při naklání vzorku v horizontální ose.



Obrázek 63. Znázornění průběhu změn sytosti barvy C^* v závislosti na měrné světlosti L^* vzorku s jemným homogenním povrchem 1542, při naklání vzorku v horizontální ose.



Obrázek 64. Znázornění průběhu změn kolorimetrických hodnot L^* , a^* , b^* vzorku s jemným homogenním povrchem 3500, při naklání vzorku v horizontální ose.

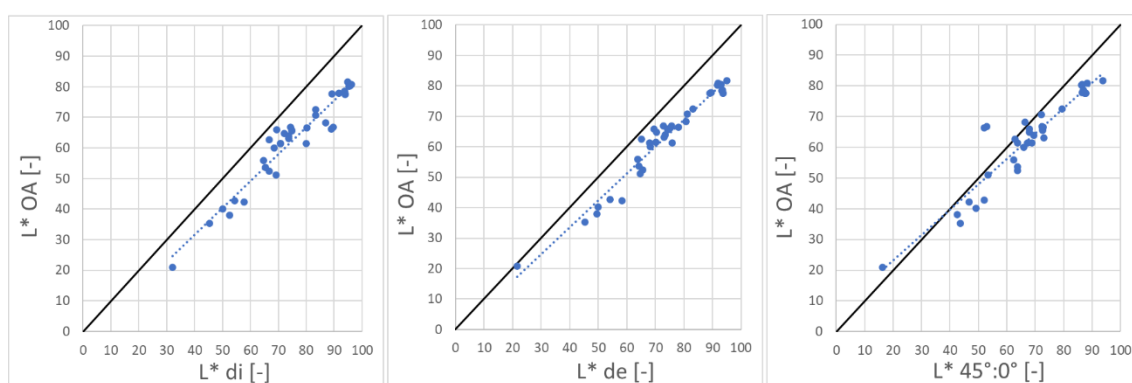
Tato část studie provedena pomocí obrazové analýzy při změnách geometrie měření v ose vertikální a horizontální potvrdila vhodnost všech testovaných vzorků k ověření účinnosti predikční rovnice malých barevných diferencí AUDI2000. U všech vzorků byly potvrzeny dichroické jevy.

7.4 Srovnání naměřených kolorimetrických hodnot L^* , a^* , b^* spektrofotometry a obrazovou analýzou

Pro srovnání výsledků naměřených spektrofotometry a obrazovou analýzou, byly použity hodnoty naměřené již popsánymi třemi měřícími geometriemi pomocí spektrofotometrů pod osvětlením D65 a obrazovou analýzou LCAM Imager pod difúzním osvětlením D65. Výsledné hodnoty obsahuje příloha 6. U vzorků obsahujících odlišné struktury nebo odstíny barev, byly měřeny tyto plochy zvlášť, pokud byly dostatečně velké, aby mohlo být měření provedeno. Metodika měření již byla popsána v předchozích kapitolách. Vzájemnou korelaci hodnot vzorků naměřených na jednotlivých zařízeních, zobrazují diagramy (viz Obrázek 65, Obrázek 66, Obrázek 67). Diagonální linie určuje směr ideální korelace, modrá tečkovaná směřnice ukazuje směr korelace naměřených hodnot.

Výsledky v měrné světlosti L^*

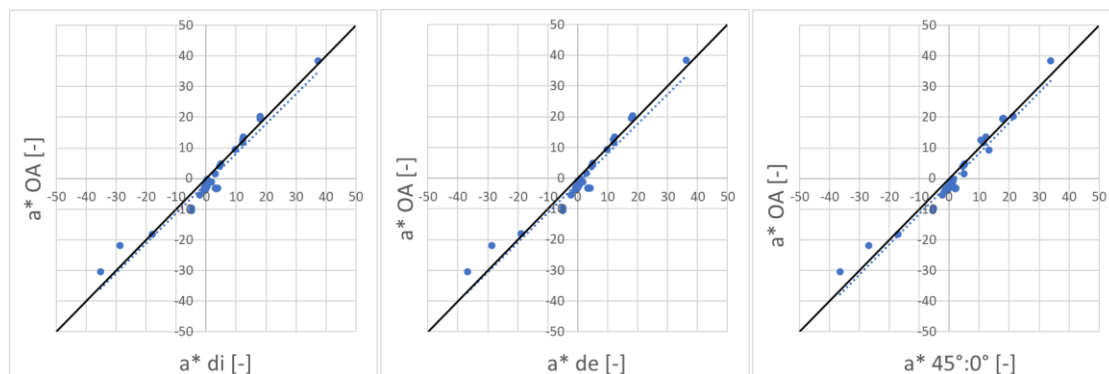
Z diagramů je patrné, že směrnice naměřených hodnot měrné světlosti L^* vykazuje nižší sklon oproti linii ideální korelace (viz Obrázek 65). Zpravidla byla naměřena nejnižší měrná světlost L^* obrazovou analýzou. V porovnání měření celkového či poměrného činitele spektrálního obrazu, byla obrazovou analýzou měrná světlost naměřena vždy nižší, obvykle významně. Měrná světlost naměřená spektrofotometricky při úhlovém osvětlení 45° a snímání v 0° , se více přibližovala hodnotám naměřeným obrazovou analýzou. Zde byly u čtyřech měřených ploch získány vyšší hodnoty měrné světlosti obrazovou analýzou. Jednalo se o vzorky nebo plochy na vzorcích s vysokým leskem. Dva vzorky, které byly zařazeny do kategorie vysoce lesklé, se výrazně odchylovaly od výsledků ostatních vzorků. Vysoká míra lesku a difúzní osvětlení při měření obrazovou analýzou (oproti osvětlení ve 45°) způsobily vyšší míru odraženého světla ku snímání v 0° .



Obrázek 65. Srovnání naměřených hodnot měrné světlosti L^* spektrofotometricky a obrazovou analýzou.

Výsledky kolorimetrické souřadnice a^*

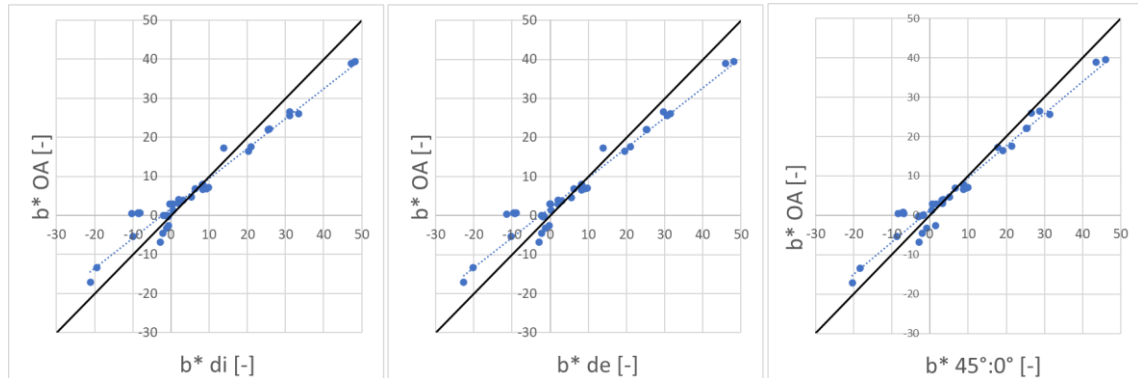
Diagramy znázorňující korelaci pro hodnoty kolorimetrické souřadnice a^* naměřené jednotlivými přístroji (viz Obrázek 66) znázorňují téměř ideální korelaci mezi měřeními testovanými spektrofotometry a obrazovou analýzou. Většina naměřených kolorimetrických hodnot a^* pomocí obrazové analýzy dosahovala nižších hodnot ve srovnání s měřením spektrofotometry, ale rozdíly byly velmi malé. Nebyla zde žádná vybočující měření a směrnice naměřených hodnot téměř kopíruje linii ideální korelace.



Obrázek 66. Srovnání naměřených hodnot kolorimetrické souřadnice a^* spektrofotometricky a obrazovou analýzou.

Výsledky kolorimetrické souřadnice b^*

Z diagramů je zřejmá poměrně dobrá shoda mezi spektrofotometricky naměřenými výsledky a obrazovou analýzou (viz Obrázek 67). Směrnice naměřených hodnot má nižší sklon a přibližně na souřadnicích (10;10) kříží linii ideální korelace.



Obrázek 67. Srovnání naměřených hodnot kolorimetrické souřadnice b^* spektrofotometricky a obrazovou analýzou.

Shrnutí srovnání měření spektrofotometry s obrazovou analýzou

Nejlepší shody mezi měřeními spektrofotometry a obrazovou analýzou bylo zjištěno jednoznačně pro souřadnici a^* . Největší odchýlení naměřených dat od ideální linie korelace, bylo zaznamenáno u měrné světlosti L^* . Kolorimetrické hodnoty naměřené pro souřadnici b^* vykazují poměrně malou rozptýlenost dat, ale směrnice má poněkud nižší sklon. Podle výsledků měření je možné předpokládat, že u vzorků s nízkou sytostí barvy bude nejvyšší naměřená sytost barvy obrazovou analýzou a naopak, čím vyšší sytost barvy, tím pravděpodobněji bude obrazovou analýzou naměřena ve srovnání s testovanými spektrofotometry nejnižší hodnota. Hodnotu měrné světlosti měřenou obrazovou analýzou ovlivnila míra lesku materiálu. U vysoce lesklých vzorků byly ve srovnání obrazové analýzy se spektrofotometrickým měřením při úhlovém osvětlení 45° a snímání v 0° zjištěny odchýlené hodnoty (obrazovou analýzou naměřeny podstatně vyšší hodnoty). Při porovnání výsledků naměřených obrazovou analýzou a spektrofotometrickým měřením celkového a poměrného činitele spektrálního odrazu žádné vychýlené hodnoty zaznamenány nebyly. U těchto tří měřících geometrií bylo použito difúzní osvětlení, byl zde tedy i větší předpoklad lepší shody.

Rozhodně není možné stanovit, že některý z testovaných přístrojů dosahuje nejlepších nebo nejhorších výsledků. Tato studie ukazuje na rozdíly mezi technikami měření, to může být nápomocno při výběru přístroje pro určitý druh měřeného objektu. Pro hodnocení barevnosti je třeba vždy zvolit přístroj a měřící geometrii podle vlastností materiálu, jako jsou struktura, lesk, drsnost atd. Dále záleží na podmínkách, v jakých bude konečný produkt používán a zvolit tak přístroj a měřící geometrii, která dokáže podmínky nejlépe simulovat, také je třeba zohlednit technické možnosti měření objektu např. možnost přímého/nepřímého měření. Aspektů ovlivňujících výběr měřící techniky může být mnoho a vždy je třeba zhodnotit konkrétní případ a podle toho zvolit způsob a techniku měření.

8 Návrh na úpravu rovnic pro výpočty rozdílů barev AUDI2000 a CIE2000

8.1 Vyšetřování barvocitu pomocí Farnsworth-Munsell 100 Hue testu (FM 100 test)

FM 100 test slouží k detekci poruch barevného vidění a testování barvocitu. Je založen na Munsellově barevném atlasu. Test obsahuje čtyři sady barevných terčků označených číselně (viz Obrázek 68). První sada obsahuje 22 terčků s číselným označením 85-21, druhá sada obsahuje 21 terčků s číselným označením 22-42, třetí sada obsahuje 21 terčků s označením 43-63 a čtvrtá sada obsahuje 21 terčků s označením 64-84. Celkově tedy test obsahuje 85 barevných terčků, jejichž odstíny odpovídají barevným krokům mezi jednotlivými odstíny barev.

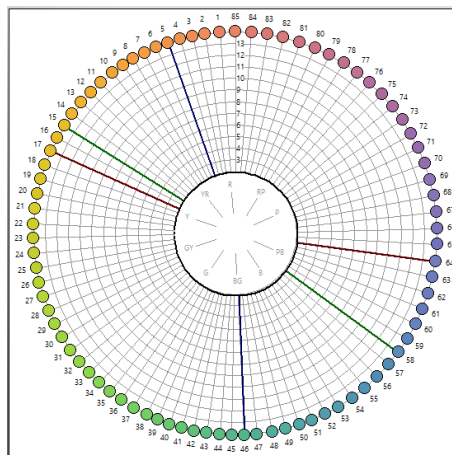


Obrázek 68. Farnsworth-Munsell 100 Hue test.

Okrajové terčíky každé sady jsou fixní, ostatní jsou vyjímatelné. Úkolem respondenta bylo seřadit náhodně pomíchané barevné terčíky tak, aby na sebe barevné odstíny mezi fixními terčíky jednotlivých sad navazovaly.

Barevné terčíky jsou ze spodní strany číselně označeny. Po seřazení terčků respondentem do jednotlivých sad byl test vyhodnocen pomocí příslušného softwaru (FM 100 Hue Test Scoring Software version 3.0), do kterého se zaneslo číselné seřazení barevných terčků respondentem a program vyhodnotil celkové chybové skóre (TES). Chybové skóre pro jeden terčík je součet absolutních rozdílů mezi číslem chybného terčíku a čísly terčků s chybným sousedícím ($|67 - 68| = 1$, $|68 - 69| = 1$), hodnota 2 značí správné umístění terčíku.

Podle výsledného chybového skóre byl respondent zařazen do příslušné kategorie: TES 0-19 = Superior, TES 20-99 = Average, TES 100 a více = Low discrimination. Vyhodnocující software dále zobrazil dosažené chybové skóre graficky v polárních souřadnicích. Barevné křivky, červená, zelená a modrá, znázorňují směr případné odchylky barevného vidění v příslušné barvě křivky. Standardní skóre TES 0, znamená nenarušenou křivku v grafu po celém vnitřním obvodu v hodnotě 2 (viz Obrázek 69). [46]



Obrázek 69. Grafické znázornění chybového skóre TES 0.

Postup testování respondentů

Testu se zúčastnilo 16 respondentů (9 žen, 7 mužů) různých věkových kategorií (viz Tabulka 5). Test byl prováděn pod osvětlením D50. Nejprve byl každý respondent seznámen s průběhem testu a jeho vyhodnocením, následně mu byly předloženy v náhodném uspořádání barevné terčíky k seřazení, mezi fixní terčíky. Po seřazení všech sad byly hodnoty v pořadí, jaké určil respondent zaneseny do softwaru pro vyhodnocení chybového skóre (TES) a vygenerování grafu polárních souřadnic.

Tabulka 5. Přehled respondentů, pohlaví, rok narození a korekce vidění.

Pořadí respondenta	Pohlaví	Rok narození	Korekce vidění
1	žena	1958	Brýle
2	žena	1981	-
3	Muž	2003	-
4	Muž	1973	-
5	Žena	1983	-
6	Žena	1958	Brýle
7	Muž	1948	Brýle
8	Žena	1979	-
9	Muž	2004	-
10	Žena	2002	Brýle
11	Žena	2004	-
12	Muž	2001	-
13	Muž	1999	-
14	Žena	1977	-
15	Muž	1969	-
16	Žena	1982	-

Výsledky testu

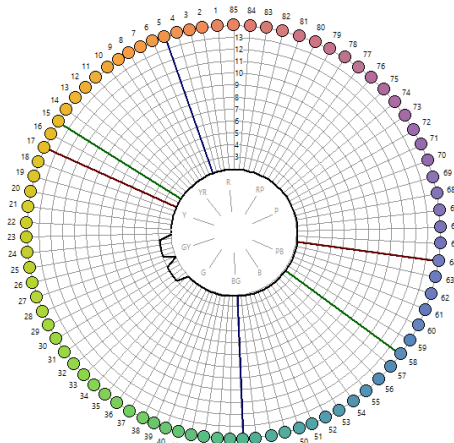
Po vyhodnocení testů všech respondentů, následovalo zařazení respondentů do příslušných kategorií, na základě dosaženého chybového skóre (TES) (viz Tabulka 6).

Tabulka 6. Rozdělení respondentů do kategorií.

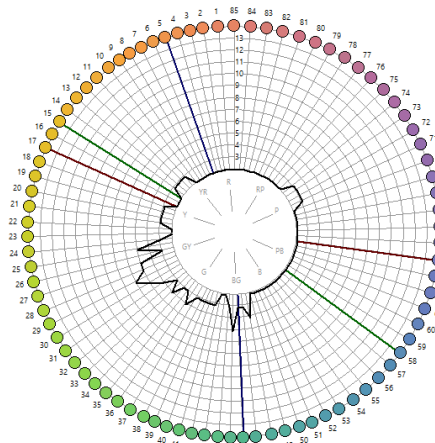
Respondent	TES	Kategorie	Respondent	TES	Kategorie
1	56	Average	9	40	Average
2	112	Low discrimination	10	16	Superior
3	52	Average	11	36	Average
4	52	Average	12	24	Average
5	20	Average	13	16	Superior
6	52	Average	14	20	Average
7	84	Average	15	76	Average
8	8	Superior	16	80	Average

Jak je zřejmé (viz Tabulka 6), 3 respondenti byly zařazeny do kategorie superior, 12 respondentů do kategorie average a 1 respondent do kategorie low discrimination. Tento respondent č. 2 byl z následujícího experimentu posudků barevných rozdílů vyloučen. Obrázek 70 zobrazuje grafy polárních souřadnic, každý z grafů znázorňuje výsledné chybové skóre jednoho respondenta z každé kategorie. Grafy polárních souřadnic všech respondentů jsou v příloze 7.

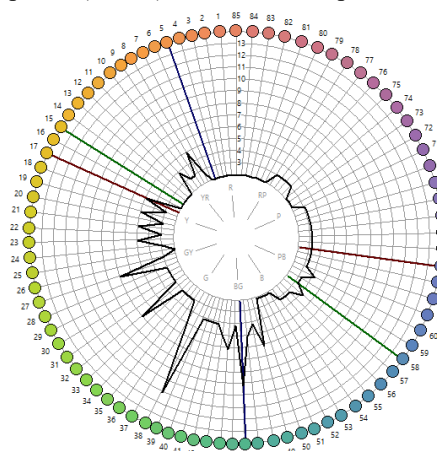
Respondenti s korekcí vidění pomocí brýlí mohli dále v experimentu posudků barevných rozdílů pokračovat.



Respondent 8, kategorie superior (TES 8).



Respondent 3, kategorie average (TES 52).



Respondent 3, kategorie low discrimination (TES 112).

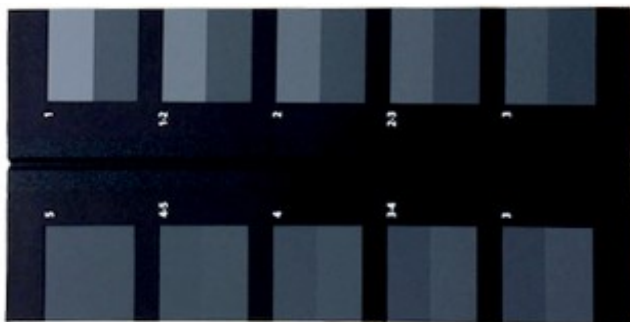
Obrázek 70. Grafy polárních souřadnic vybraných respondentů.

8.2 Vizuální hodnocení vzorků

Vizuální hodnocení vzorků provádělo 15 respondentů, u kterých nebylo při vyšetřování barvocitu zjištěno snížené barevné vnímání. Žádný z respondentů neměl předchozí zkušenosti s posuzováním barevných rozdílů. Před začátkem hodnocení byli všichni respondenti seznámeni s postupem a průběhem hodnocení vzorků.

Postup vizuálního hodnocení vzorků

Hodnocení vzorků probíhalo v zatemněné místnosti, v koloristické skříni pod osvětlením D50. Doba adaptace respondenta na osvětlení byla 3 minuty. Na dno koloristické skříně byl umístěn podstavec použitý při měření vzorků pomocí obrazové analýzy s kruhovou plochou pro umístění vzorku, který umožňoval otáčení vzorkem v úhlu Φ a naklání vzorku v horizontální ose. V jeho těsné blízkosti vlevo byl umístěn černý podstavec s nastavitelnou výškou s obdélníkovou plochou pro umístění vzorku, která byla nastavena tak, aby oba podstavce měly plochy k umístění vzorků ve stejné výšce. Plochy pro umístění vzorků byly podobných velikostí. Všech 27 vzorků velikosti 10×10 cm bylo rozstříženo středem na dva díly o velikosti 5×10 cm. Pro vizuální posudek se jedna polovina vzorku umístila do středu polohovacího podstavce pro změny úhlů v ose vertikální a horizontální a druhá polovina do středu podstavce s nastavitelnou výškou. Úkolem respondenta bylo posoudit velikost vnímaného barevného rozdílu mezi dvěma totožnými goniochromními vzorky při naklání vzorku umístěného vpravo, ze základní polohy 0° do úhlu naklonění 40°, po 10° krocích. Vzorek vlevo, který zůstal ve stejné vodorovné poloze, byl vzorek referenční. Vůči tomuto referenčnímu vzorku byly rozdíly při naklání druhé odstřížené části vzorku vztahovány. Respondent tedy hodnotil barevné rozdíly mezi vzorky v úhlech naklonění horizontální osy 10°, 20°, 30°, 40°. Během hodnocení byl respondent ve stále pozorovací poloze, pozorovací vzdálenost byla přibližně 50 cm. Doba hodnocení jednoho respondenta se pohybovala od 30 min do 50 min. Hodnoceno bylo 27 totožných párů vzorků patnácti respondenty. Pořadí posuzovaných vzorků bylo pro každé hodnocení zachováno stejné.



Obrázek 71. Šedá stupnice.

Vizuální hodnocení a určování barevného rozdílu bylo prováděno pomocí šedé stupnice splňující normu ISO105/A02 (viz Obrázek 71). Respondent posoudil velikost barevného rozdílu mezi dvěma vzorky a přiřadil ji k jednomu z rozdílů znázorněným šedou stupnicí označených

číselně po půl stupních od 1 do 5. Číslo 5 vyjadřuje nulový rozdíl, číslo jedna nejvyšší stupeň možného rozdílu.

Takto zhodnotil každý z respondentů všech 27 vzorků v úhlech naklonění (10° , 20° , 30° , 40°) vůči referenčnímu vzorku, kterým byl totožný vzorek ve fixní poloze 0° . Pro každý hodnocený úhel jednotlivých vzorků, bylo třeba získat jenu hodnotu, tzv. vizuálně vnímanou barevnou odchylku dV . Vzhledem k některým vybočujícím hodnotám byl použit pro výpočet robustní průměr, kdy byly odstaněny krajní hodnoty.

Vypočítané robustní průměry získané z pozorovaných rozdílů všech respondentů bylo třeba přepočítat na vizuálně vnímanou barevnou odchylku dV pomocí vzorce

$$dV = -1,078 + 23,56e^{(-GS/1,709)} \quad (35)$$

kde GS je hodnota stupně šedé stupnice uvedená respondentem.

Robustní průměry jednotlivých úhlů pro všechny vzorky, směrodatné odchylky a vnímané barevné odchylky jsou uvedeny v příloze 8.

Vypočítané vizuální barevné odchylky dV byly dále použity k porovnání s odchylkami dE získanými z výpočtů diferenčních rovnic CIE2000 a AUDI2000, pro které jsou vstupními hodnotami data získaná měřením vzorků obrazovou analýzou.

8.3 Výsledky hodnocení a návrh na úpravu rovnic pro výpočty rozdílů barev AUDI2000 a CIE2000

Z vizuálního hodnocení byly získány pro každý vzorek v každém z úhlů naklonění v horizontální ose vizuálně vnímané barevné odchylky dV . Naměřené hodnoty kolorimetrických souřadnic L^* , a^* , b^* , pomocí obrazové analýzy, bylo potřeba převést pomocí vybrané rovnice na hodnotu barevného rozdílu dE . Cílem studie je posoudit účinnost rovnice malých barevných diferencí AUDI2000 a výsledky této rovnice zhodnotit na základě výsledků získaných pomocí normované rovnice pro výpočty malých barevných diferencí CIE2000. Dalším krokem bylo navrhnout nastavení diferenčních rovnic CIE2000 a AUDI2000 tak, aby výsledky dE na základě výpočtu pomocí uvedených rovnic, co nejlépe korespondovaly s výsledky dV .

Zvolené způsoby posouzení rovnic pro výpočty malých barevných diferencí

Pro posouzení schopnosti diferenční rovnice předpovídat velikost barevného rozdílu byl zvolen jednoduchý výběrový korelační koeficient r , *STRESS* index používaný pro výpočet variability a koeficient CV též udávající míru variability. Graficky byly výsledky znázorněny pomocí korelačního diagramu, kde diagonální černá linie znázorňuje směr ideální korelace a směrnici trendu naměřených hodnot znázorňuje červená tečkovaná linie. Všechny zvolené výpočty posuzují míru vztahu dvou stejně velkých souborů. Prvním souborem byly výpočty vizuálně vnímaných barevných odchylek dV , druhým posuzovaným souborem byly výpočty barevných diferencí dE , diferenčních rovnic AUDI2000, nebo CIE2000.

Výpočty k posouzení kvality diferenčních rovnic r , *STRESS* a CV , byly vypočítány pro základní nastavení rovnice a dále pro navrženou úpravu rovnic. Testováním mnoha různých návrhů pro úpravu rovnice byla hledána taková soustava koeficientů k_L , k_C , k_H , která by vedla

k co možná nejlepším výsledkům hodnotících kritérií pro posuzování diferenčních rovnic. Kritéria nastavení parametrů k_i diferenčních rovnic lze přizpůsobit konkrétním požadavkům, např. při potřebě přísnějšího posudku by se hledaly koeficienty, kterými by bylo dosaženo nižších hodnot dE ve srovnání s dV . V této práci byly hledány koeficienty, které by vedly k co nejlepší shodě dV a dE .

Hodnocení rovnic bylo prováděno pro jednotlivé sady vzorků zvlášť, vždy nejprve pro základní nastavení příslušné rovnice, následně s úpravou parametrů rovnice, která měla vést k lepším výsledkům.

Korelační koeficient r

Nabývá hodnot od -1 do 1, hodnota značí míru vztahu mezi veličinami. Velikost korelačního koeficientu 0 = žádný vztah, velikost 1, nebo -1 značí absolutní vztah.

$$r = \frac{n(\sum dV_i * dE_i) - \sum dV_i * \sum dE_i}{\sqrt{[n\sum dV_i^2 - (\sum dV_i)^2] * [n\sum dE_i^2 - (\sum dE_i)^2]}}. \quad (36)$$

STRESS index

Používá se k výpočtu variability, udává míru shody mezi způsoby hodnocení barevných diferencí, v tomto případě shodu mezi hodnocením vizuálním dV_i a hodnocením pomocí diferenční rovnice dE_i . STRESS index nabývá hodnot 0-100, nízké hodnoty značí lepší výkon vzorce pro výpočet barevných diferencí.

$$STRESS = 100 \left(\frac{\sum (dE_i - F * dV_i)^2}{\sum F^2 * dV_i^2} \right)^{1/2} [\%], \text{ kde } F = \frac{\sum dE_i^2}{\sum dE_i * dV_i}. \quad (37)$$

CV koeficient

Udává shodu mezi hodnocenými způsoby měření. Čím nižší hodnota CV, tím lepší shoda.

$$CV = \frac{100}{dE} \left(\frac{\sum (dE_i - f * dV_i)^2}{n} \right)^{1/2}, \text{ kde } f = \frac{\sum dE_i * dV_i}{\sum (dV_i)^2}. \quad (38)$$

8.3.1 Výsledky hodnocení a návrh nastavení koeficientů k_L , k_C , k_H diferenčních rovnic

U všech tří sad vzorků byly výsledné hodnoty dE v základním nastavení diferenčních rovnic ve srovnání s dV významně vyšší. Takto vypočítané hodnoty dE jsou nepoužitelné. Úpravy nastavení diferenčních rovnic lze přizpůsobit konkrétním potřebám. V této práci byla snaha dosáhnout co možná nejlepší shody s linií ideální korelace, zároveň s ohledem na co nejlepší výsledky hodnot kritérií ověřující účinnost diferenčních rovnic. Nejprve byla testována úprava diferenčních rovnic AUDI2000 a CIE2000 pomocí koeficientů k_i .

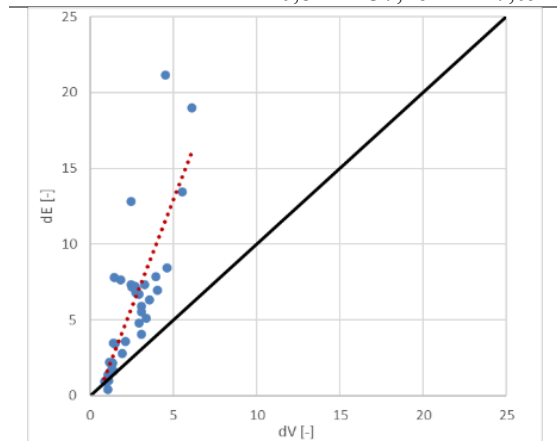
Textilní vzorky

Následující tabulky obsahují výsledky diferenční rovnice CIE2000 sady textilních vzorků. Tabulka 7 obsahuje výsledky při základním nastavení rovnice. Tabulka 8 obsahuje výsledky při navržené optimalizaci nastavení koeficientů k_L , k_C , k_H .

Z výsledků je patrné, že zvolené nastavení koeficientů k_i nezpůsobilo zlepšení hodnotících kritérií, ale z diagramu je zřejmé, že došlo ke snížení směrnice naměřených hodnot, a tedy k významnému snížení rozdílů mezi dV a dE .

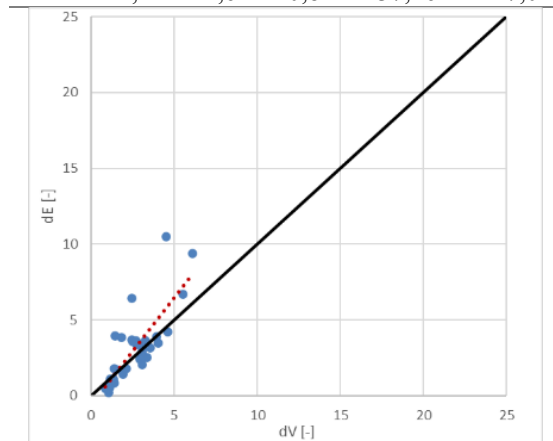
Tabulka 7. Výsledné hodnoty a jejich grafické znázornění v základním nastavení rovnice CIE2000 sady textilních vzorků.

Nastavení parametrů k			Výsledky hodnotících kritérií		
k_L	k_C	k_H	$r [-]$	STRESS [%]	CV [%]
1	1	1	0,8	37,26	47,09



Tabulka 8. Výsledné hodnoty a jejich grafické znázornění optimalizovaného nastavení rovnice CIE2000 sady textilních vzorků.

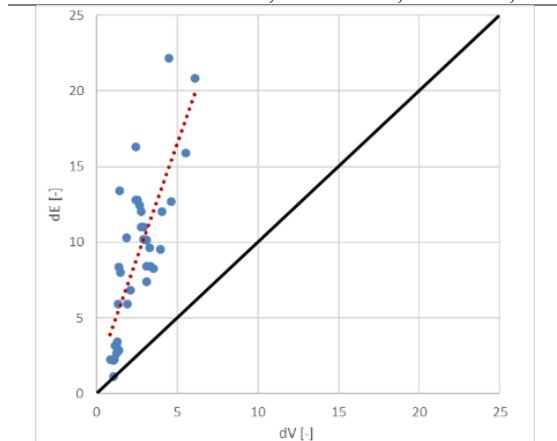
Nastavení parametrů k			Výsledky hodnotících kritérií		
k_L	k_C	k_H	$r [-]$	STRESS [%]	CV [%]
2	2,2	1,6	0,8	37,26	47,0



Další dvě tabulky obsahují výsledky sady textilních vzorků diferenční rovnice AUDI2000. Tabulka 9 obsahuje výsledky při základním nastavení diferenční rovnice. Tabulka 10 výsledky při navržené optimalizaci nastavení koeficientů k_L , k_C , k_H . Navržené nastavení koeficientů k_i , způsobilo jen k nepatrné zlepšení hodnotících kritérií, ale snížení směrnice trendu naměřených hodnot je významné.

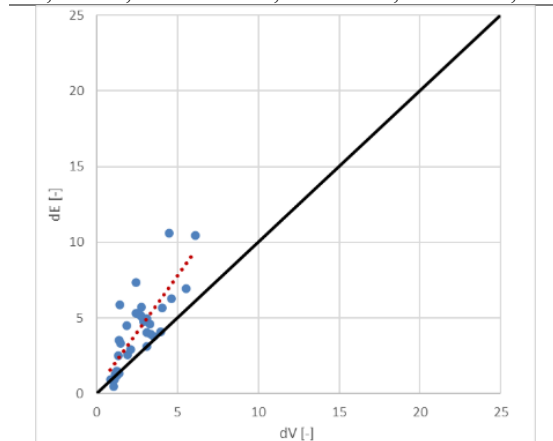
Tabulka 9. Výsledné hodnoty a jejich grafické znázornění v základním nastavení rovnice AUDI2000 sady textilních vzorků.

Nastavení parametrů k			Výsledky hodnotících kritérií		
k_L	k_C	k_H	$r [-]$	STRESS [%]	CV [%]
1	1	1	0,78	31,2	35,76



Tabulka 10. Výsledné hodnoty a jejich grafické znázornění optimalizovaného nastavení rovnice AUDI2000 sady textilních vzorků.

Nastavení parametrů k			Výsledky hodnotících kritérií		
k_L	k_C	k_H	$r [-]$	STRESS [%]	CV [%]
2,5	1,4	2	0,81	30,39	35,34



Porovnání výkonnosti diferenčních rovnic CIE2000 a AUDI2000 u sady textilních vzorků

Navržená optimalizace diferenčních rovnic pomocí upravení koeficientů k_L , k_C , k_H , vedla k výraznému zlepšení sklonu směrnice naměřených hodnot. Ke zlepšení hodnotících kritérií došlo v malé míře, a to pouze u diferenční rovnice AUDI2000.

Po navržené optimalizaci byla podle hodnotících kritérií zjištěna u sady textilních vzorků větší účinnost diferenční rovnice AUDI2000. Velikost rozdílů hodnotících kritérií ve prospěch diferenční rovnice AUDI2000: r 0,01 bodu, STRES index 6,87 %, CV koeficient 11,66 %.

Strukturní vzorky

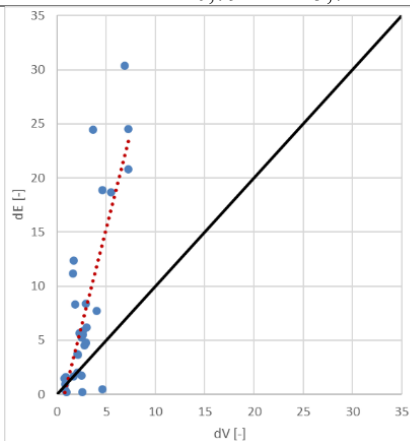
Následující tabulky obsahují výsledky diferenční rovnice CIE2000 sady strukturních vzorků. Tabulka 11 obsahuje výsledky při základním nastavení rovnice. Tabulka 12 obsahuje výsledky navržené optimalizace nastavení koeficientů k_L , k_C , k_H .

Z výsledků je zřejmé, že zvolené koeficienty k_i pro optimalizaci rovnice vedly k podstatnému zlepšení predikční schopnosti rovnice CIE2000. Korelační koeficient zůstal nezměněn, ale STRES index dosáhl lepší hodnoty o téměř 8 % a koeficient CV o 17,85 %. Tímto nastavením koeficientů k_i došlo k významnému zlepšení účinnosti diferenční rovnice CIE2000, stále ovšem dosažené hodnoty kritérií posuzujících kvalitu diferenčních rovnic nejsou dobré.

Výsledek je ovlivněn odlehlými hodnotami v oblasti nejnižších diferenčních hodnot, kde je zaznamenána vyšší míra neshody u strukturního vzorku E001. Pomocí přístrojového měření byly naměřeny velmi malé diference při naklání vzorku v horizontální ose, u vizuálního hodnocení však respondenti vnímaly větší odchylky. Při vizuálním hodnocení se mohlo jednat o tzv. zdánlivý rozdíl.

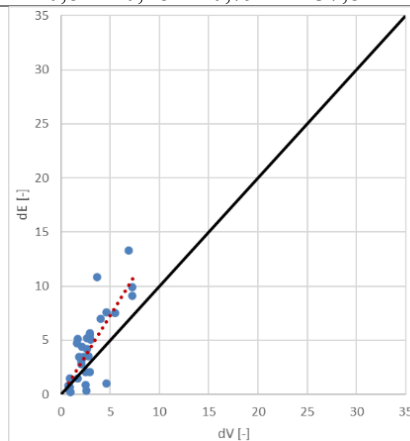
Tabulka 11. Výsledné hodnoty a jejich grafické znázornění v základním nastavení rovnice CIE2000 sady strukturních vzorků.

Nastavení parametrů k			Výsledky hodnotících kritérií		
k_L	k_C	k_H	r [-]	STRESS [%]	CV [%]
1	1	1	0,79	45,72	66,15



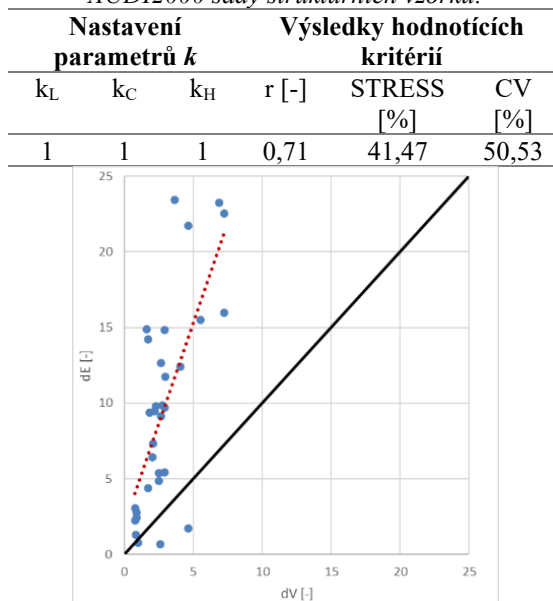
Tabulka 12. Výsledné hodnoty a jejich grafické znázornění optimalizovaného nastavení rovnice CIE2000 sady strukturních vzorků.

Nastavení parametrů k			Výsledky hodnotících kritérií		
k_L	k_C	k_H	r [-]	STRESS [%]	CV [%]
2,5	0,8	0,48	0,79	37,82	48,3

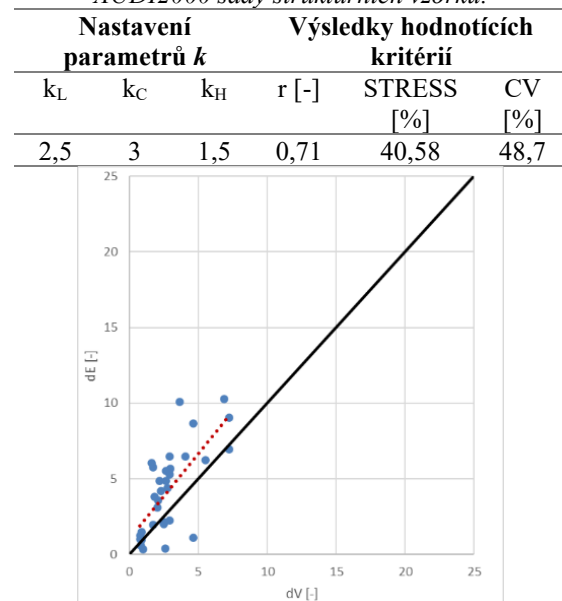


Další dvě tabulky uvádí výsledky diferenční rovnice AUDI2000 sady strukturálních vzorků. Tabulka 13 obsahuje výsledky základního nastavení diferenční rovnice. Tabulka 14 obsahuje výsledky návrhu optimalizace nastavení koeficientů k_L , k_C , k_H . I zde vedlo nastavení koeficientů k_i ke snížení směrnice trendu naměřených hodnot dV a dE a tím k výrazně lepší shodě s linií ideální korelace a ke snížení velkých rozdílů mezi dvěma způsoby hodnocení, ovšem zlepšení výsledků hodnotících kritérií bylo jen nepatrné. Stejně jako při výpočtech dE diferenční rovnicí CIE2000, i zde byly u vzorku s označením E001 zaznamenány odchýlené hodnoty.

Tabulka 13. Výsledné hodnoty a jejich grafické znázornění v základním nastavení rovnice AUDI2000 sady strukturálních vzorků.



Tabulka 14. Výsledné hodnoty a jejich grafické znázornění optimalizovaného nastavení rovnice AUDI2000 sady strukturálních vzorků.



Porovnání výkonnosti diferenčních rovnic CIE2000 a AUDI2000 sady strukturálních vzorků

Navržená optimalizace diferenčních rovnic pomocí upravení koeficientů k_L , k_C , k_H , vedla v obou případech k výraznému zlepšení sklonu směrnice naměřených hodnot.

U sady strukturálních vzorků bylo všemi použitými způsoby hodnocení výkonnosti diferenčních vzorců dosaženo po optimalizaci koeficientů k_i lepších výsledků u diferenční rovnice CIE2000. Při základním nastavení rovnic byla lepší výkonnost rovnice AUDI2000, ale při základním nastavení rovnic jsou výsledné hodnoty dE výrazně vyšší ve srovnání s dV , až nepoužitelné. Vhodné nastavení parametrů k_i , které by vedlo ke zlepšení směrnice trendu naměřených hodnot a zároveň k lepší výkonnosti rovnice AUDI2000 se nepodařilo najít. Výsledné hodnoty hodnotících kritérií optimalizovaných rovnic poukazují na výhodnější účinnost diferenční rovnice CIE2000. Konkrétně korelační koeficient byl vyšší o 0,08 bodu, STRESS index nižší o 2,76 % a koeficient CV nižší o 0,4 %.

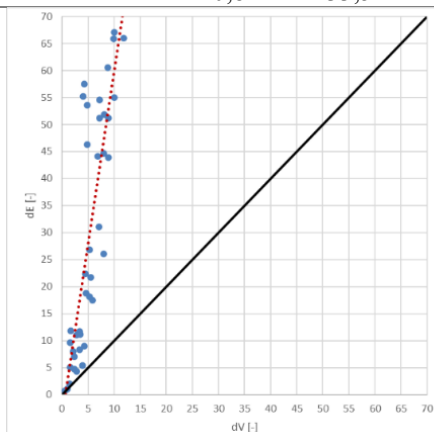
Vzorky s jemným homogenním povrchem

Další dvě tabulky uvádí výsledky diferenční rovnice CIE2000 sady vzorků s jemným homogenním povrchem. Tabulka 15 obsahuje výsledky základního nastavení diferenční rovnice. Tabulka 16 obsahuje výsledky navržené optimalizace diferenční rovnice.

U této sady vzorků při základním nastavení rovnice stoupá směrnice trendu nejstrměji, a tedy rozdíly mezi dV a dE jsou největší. Při optimalizaci parametrů k_i došlo k výraznému zlepšení ve všech hodnocených parametrech. Směrnice naměřených hodnot se přiblížila linii ideální korelace, korelační koeficient se zvýšil o 0,4 bodu, STRESS index klesl o 8,61 % a koeficient CV se snížil o 12,79 %.

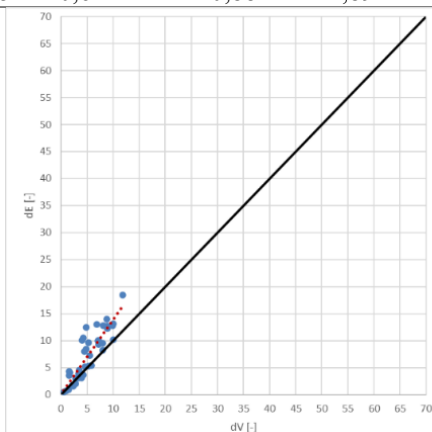
Tabulka 15. Výsledné hodnoty a jejich grafické znázornění v základním nastavení rovnice CIE2000 sady vzorků s jemným homogenním povrchem.

Nastavení parametrů k			Výsledky hodnotících kritérií		
k_L	k_C	k_H	$r [-]$	STRESS [%]	CV [%]
1	1	1	0,84	33,5	42,1



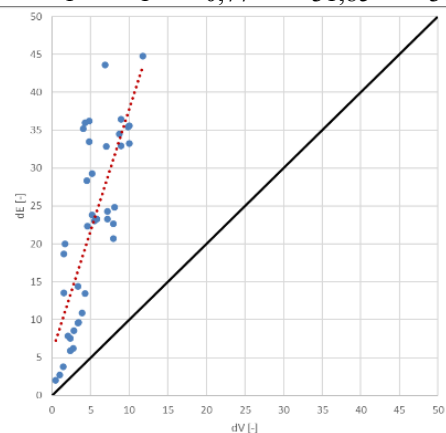
Tabulka 16. Výsledné hodnoty a jejich grafické znázornění optimalizované rovnice CIE2000 sady vzorků s jemným homogenním povrchem.

Nastavení parametrů k			Výsledky hodnotících kritérií		
k_L	k_C	k_H	$r [-]$	STRESS [%]	CV [%]
5,5	0,6	1	0,88	24,89	29,31



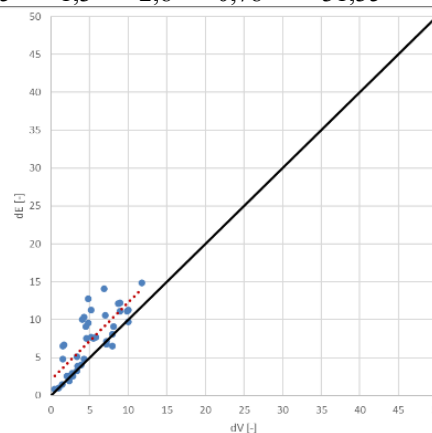
Tabulka 17. Výsledné hodnoty a jejich grafické znázornění v základním nastavení rovnice AUDI2000 sady vzorků s jemným homogenním povrchem.

Nastavení parametrů k			Výsledky hodnotících kritérií		
k_L	k_C	k_H	$r [-]$	STRESS [%]	CV [%]
1	1	1	0,77	31,85	36,16



Tabulka 18. Výsledné hodnoty a jejich grafické znázornění optimalizovaného nastavení rovnice AUDI2000 sady vzorků s jemným homogenním povrchem.

Nastavení parametrů k			Výsledky hodnotících kritérií		
k_L	k_C	k_H	$r [-]$	STRESS [%]	CV [%]
3,5	1,3	2,8	0,78	31,35	35,3



V následujících dvou tabulkách jsou uvedeny výsledky diferenční rovnice AUDI2000, sady vzorků s jemným homogenním povrchem. Tabulka 17 obsahuje výsledky při základním nastavení rovnice. Tabulka 18 obsahuje výsledky při optimalizovaném nastavení koeficientů

k_L , k_C , k_H . Směrnici trendu naměřených hodnot se podařilo přiblížit linii ideální korelace, ale ke zlepšení hodnotících kritérií vedlo toto nastavení minimálně.

Porovnání výkonnosti diferenčních rovnic CIE2000 a AUDI2000 sady vzorků s jemným homogenním povrchem

Navržená optimalizace diferenčních rovnic pomocí upravení koeficientů k_L , k_C , k_H , vedla v obou případech k výraznému zlepšení sklonu směrnice naměřených hodnot.

U sady vzorků s jemným homogenním povrchem, byla po optimalizaci koeficientů k_i lepší účinnost diferenční rovnice CIE2000. Základní nastavení obou rovnic vede k největším rozdílům mezi dV a dE z testovaných sad vzorků. U rovnice CIE2000 se podařilo najít velikost koeficientů k_i , které podstatně zlepšily výkonnost rovnice. Pro diferenční rovnici AUDI2000 nebyly nalezeny koeficienty, které by dokázaly významně zlepšit výsledky hodnotících kritérií.

8.3.2 Výsledky hodnocení návrhu nastavení váhových funkcí S_L , S_C , S_H diferenčních rovnic

Diferenční rovnice AUDI2000

Pro další zlepšení výkonnosti diferenční rovnice AUDI2000 bylo testováno vhodnější nastavení váhových funkcí S_L , S_C , S_H (viz rovnice 32). Zpravidla bylo třeba při změně nastavení váhových funkcí hledat také nové nastavení koeficientů k_i . Bylo testováno mnoho variant nastavení váhových funkcí. Vybrané parametry navržené pro nastavení diferenční rovnice AUDI2000 vedoucí ke zlepšení hodnotících kritérií uvádí následující tabulka (viz Tabulka 19). Nastavení váhových funkcí a nově nastavených parametrů k , bylo vybíráno tak, aby byly výsledky v co nejlepším souladu s linií ideální korelace a nedošlo k jejímu odchýlení při současném zlepšení hodnot hodnotících kritérií.

Tabulka 19. Návrh nastavení diferenční rovnice AUDI2000.

Textilní vzorky	k_L	k_C	k_H	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
AUDI2000 originál (optimalizované koeficienty k)	2,5	1,4	2,0	1,0	0,67	0,002	0,33	1	1
AUDI2000 upravená pro zlepšení hodnotících kritérií	2,1	1,3	3,3	1,2	0,8	0,01	0,5	1	1,5
Strukturní vzorky									
AUDI2000 originál (optimalizované koeficienty k)	2,5	3	1,5	1,0	0,67	0,002	0,33	1	1
AUDI2000 upravená pro zlepšení hodnotících kritérií	1,9	2,4	1,6	0,9	0,1	0,015	0,8	1	1
Vzorky s jemným homogenním povrchem									
AUDI2000 originál (optimalizované koeficienty k)	3,5	1,3	2,8	1,0	0,67	0,002	0,33	1	1
AUDI2000 upravená pro zlepšení hodnotících kritérií	3,5	1,3	2,9	0,82	0,1	0,002	0,7	1	1

Tabulka 20 uvádí výsledné hodnoty kritérií pro hodnocení diferenčních rovnic a diferenční rovnice AUDI2000 v originálním nastavení váhových funkcí s optimalizovanými parametry

k_i a hodnoty získané úpravou rovnic pomocí navržených úprav váhových funkcí S_i a nově nastavených parametrů k_i .

Tabulka 20. Výsledky hodnotících kritérií diferenční rovnice před úpravou a po úpravě váhových funkcí.

Textilní vzorky	r [-]	STRESS [%]	CV [%]
AUDI2000 originál (optimalizované koeficienty k)	0,81	30,39	35,34
AUDI2000 upravená pro zlepšení hodnotících kritérií	0,84	28,63	33,57
Strukturní vzorky			
AUDI2000 originál (optimalizované koeficienty k)	0,71	40,58	48,7
AUDI2000 upravená pro zlepšení hodnotících kritérií	0,8	35,48	43,81
Vzorky s jemným homogenním povrchem			
AUDI2000 originál (optimalizované koeficienty k)	0,78	31,35	35,3
AUDI2000 upravená pro zlepšení hodnotících kritérií	0,88	23,91	27,61

Z tabulky je patrné, že k nejméně výraznějšímu zlepšení hodnotících kritérií došlo u vzorků s jemným homogenním povrchem. Naopak nejméně se podařilo zlepšit výsledky u sady textilních vzorků. Podle dosažených výsledků byla diferenční rovnice AUDI2000 nejméně vhodná pro použití hodnocení strukturních vzorků. Novým nastavením váhových funkcí se podařilo významně vylepšit výsledky hodnotících kritérií, přesto měla diferenční rovnice u této sady vzorků nejhorší výsledky.

Diferenční rovnice CIE2000

Pro úpravu váhových funkcí diferenční rovnice CIE2000 bylo testováno mnoho možností. Žádná však nevedla při zachování požadovaného směru, směrnice naměřených hodnot k výraznému zlepšení hodnotících kritérií. Pro diferenční rovnici CIE2000 se tedy nepodařilo najít vhodnější nastavení váhových funkcí a jejich originální nastavení se jeví jako nevhodnější.

Výsledky návrhu nastavení diferenčních rovnic CIE2000 a AUDI2000

Tabulka 21 zobrazuje výsledné hodnoty kritérií pro hodnocení diferenčních rovnic CIE2000 a AUDI2000. Výsledky diferenční rovnice CIE2000 jsou uvedeny pro nastavení rovnice s optimalizovanými koeficienty k_i , váhové funkce zůstaly v základním nastavení (viz Tabulka 8, Tabulka 12 a Tabulka 16). Takto byla nalezena nejlepší výkonnost diferenční rovnice CIE2000 pro testované 3 sady vzorků. U diferenční rovnice AUDI2000 jsou uvedeny výsledky při optimalizovaném nastavení koeficientů k_i i váhových funkcí S_i (viz Tabulka 19).

Zaznamenané výsledky ukazují velmi podobnou účinnost obou rovnic pro sadu vzorků s jemným homogenním povrchem. Poměrně dobré shoda účinnosti obou diferenčních rovnic byla i u sady strukturních vzorků. Zde byly diferenční rovnicí AUDI2000 dosaženy lepší výsledky, rozdíl však není výrazný. Velký rozdíl byl zaznamenán u sady textilních vzorků. Nápadně vyšší výkonnost diferenční rovnice AUDI2000 byla shledána již při originálním nastavení rovnic, optimalizací koeficientů k_i a váhových funkcí S_i bylo dosaženo dalšího vylepšení výkonnosti diferenční rovnice. U testované sady textilních vzorků v této práci byl potvrzen předpoklad o vhodnosti použití diferenční rovnice AUDI2000 pro textilní materiály. Výsledné hodnoty dE všech vzorků ve všech testovaných úhlech naklonění horizontální osy, jsou uvedeny v příloze č. 9.

Tabulka 21. Výsledky návrhu nastavení diferenčních rovnic CIE2000 a AUDI2000.

	r [-]	STRESS [%]	CV [%]
Textilní vzorky			
CIE2000	0,8	37,26	47,00
AUDI2000	0,84	28,63	33,57
Strukturní vzorky			
CIE2000	0,79	37,82	48,3
AUDI2000	0,8	35,48	43,81
Vzorky s jemným homogenním povrchem			
CIE2000	0,88	24,89	29,31
AUDI2000	0,88	23,91	27,61

S velkou pravděpodobností by bylo dosaženo lepších a přesnějších výsledků hodnotících kritérií při testování vzorků vykazujících jednotnější charakteristiky. Dosažené výsledky hodnotících kritérií nepatří k nejlepším, což je způsobeno různorodostí vzorků v jednotlivých sadách. Tato práce však poukazuje na to, že má smysl se testováním diferenční rovnice AUDI2000 pro použití v textilním odvětví zabývat hlouběji, a to bylo jejím účelem. U výsledků sady strukturních vzorků je dobře zřetelné, jak ovlivňuje různorodost struktury testovaných vzorků výsledky k horšímu. Naopak výsledky sady vzorků s jemným homogenním povrchem potvrzují vliv jednotnosti strukturního povrchu k lepšímu. Právě tato různorodost vzorků ukázala, jakým směrem by bylo vhodné na práci navázat a kterým směrem by nemělo smysl pokračovat. Pokud by sady vzorků byly vybrány velmi podobných strukturních materiálů, dá se předpokládat, že by byly výsledky lepší. Stejně tak by mohl mít pozitivní vliv nastavení sady vzorků obsahující pouze chromatické, nebo pouze achromatické barvy.

9 Závěr

Cílem práce, bylo hodnocení vlivu geometrie měření na rozdíly barev, ověření účinnosti rovnice pro výpočty barevných rozdílů AUDI2000 a návrh úpravy této rovnice. Účinnost diferenční rovnice AUDI2000 byla testována pomocí normované diferenční rovnice CIE2000, která umožňuje stejně jako diferenční rovnice AUDI2000 nastavení parametrických funkcí, pro možnost přizpůsobení konkrétním požadavkům. Hodnocení bylo prováděno pomocí tří sad vzorků. První sada obsahovala 9 textilních vzorků, druhá sada obsahovala 8 vzorků různých strukturních povrchů, třetí sada obsahovala 10 vzorků s jemným homogenním povrchem.

Pro hodnocení vlivu geometrie měření na rozdíly barev byla provedena nejprve studie vlivu standardních měřících geometrií spektrofotometrů. Použity byly tři druhy nejběžněji používaných měřících geometrií. Podle naměřených výsledků ovlivňuje volba geometrie měření především měrnou světlost L^* , u barevných souřadnic a^* , b^* , tak výrazný rozdíl mezi jednotlivými měřícími geometriemi zaznamenán nebyl. Ze tří sad hodnocených vzorků, byly největší rozdíly zaznamenány u všech kolorimetrických souřadnic u sady vzorků s jemným homogenním povrchem. Dalším faktorem zvyšujícím rozdíly mezi naměřenými kolorimetrickými hodnotami jednotlivými spektrofotometry byl lesk. Čím vyšší lesk, tím větší rozdíly.

Dalším krokem k hodnocení vlivu geometrie měření na rozdíly barev bylo měření vzorků obrazovou analýzou, při jejich změně polohy ve dvou osách. První osou byla vertikální osa, vzorek byl měřen při jeho otáčení kolem vertikální osy po 90° , od 0° až do úhlu 360° . Druhou osou byla horizontální osa, kdy byl vzorek nakláněn z vodorovné pozice 0° po 10° , do úhlu naklonění 40° . Vzorek byl měřen v každém z úhlů naklonění v horizontální rovině také při otáčení kolem osy vertikální. Sady textilních a strukturních vzorků vykazovaly podobnou tendenci. Při změně polohy vzorku v ose vertikální docházelo pravidelně při otočení vzorkem o 90° k výraznému nárůstu měrné světlosti L^* a s dalším otočením o 90° zpět k poklesu. Největší rozdíly při otáčení vzorkem kolem vertikální osy byly naměřeny ve vodorovné poloze vzorku, tedy v úhlu naklonění horizontální roviny 0° . S postupným nakláněním vzorku v horizontální rovině se velikost rozdílů při otáčení vzorkem kolem osy vertikální snižovala, tento trend byl zaznamenán do úhlu naklonění v ose horizontální 30° . S dalším nakloněním vzorku docházelo opět ke zvyšování rozdílů v hodnotách kolorimetrických souřadnic při otáčení vzorkem kolem vertikální osy. U sady vzorků s jemným homogenním povrchem nebyly zaznamenány patrné změny při jejich otáčení kolem vertikální osy. Rozdíly naměřených kolorimetrických hodnot mezi úhly naklonění v horizontální ose vykazovaly opět u sady textilních a strukturních vzorků podobný trend. Až do úhlu naklonění vzorku 30° docházelo k nárůstu měrné světlosti L^* , s dalším nakloněním docházelo k poklesu L^* . U sady vzorků s jemným homogenním povrchem docházelo též až do úhlu naklonění horizontální roviny 30° k nárůstu L^* a při dalším naklánění se měrná světlost snižovala, ovšem u vzorků s jemným homogenním povrchem byl nárůst měrné světlosti výrazně prudší. Rozdíly barev při naklánění vzorků v horizontální ose byly zásadně ovlivněny také mírou lesku. U vysoce lesklých vzorků docházelo k největším změnám. Výsledky měření vzorků různými geometriemi měření,



potvrdily goniochromní charakter vzorků, a tedy vhodnost vzorků k ověření účinnosti diferenční rovnice.

V dalším kroku byly porovnávány výsledky získané ze spektrofotometrických měření, s výsledky naměřenými pomocí obrazové analýzy. Z výsledků je patrné, že obrazová analýza měří lehce nižší hodnoty měrné světlosti L^* . U kolorimetrické souřadnice a^* nebyly zaznamenány rozdíly mezi technikami měření, u kolorimetrické souřadnice b^* byla velmi dobrá shoda u nízkých hodnot. Se zvyšující se hodnotou barevné souřadnice b^* se mírně zvyšuje rozdíl mezi hodnotami naměřenými spektrofotometry a obrazovou analýzou. Rozhodně není možné stanovit, která měřicí geometrie či technika je nejlepší. Vždy je třeba objekt k měření individuálně posoudit a zvolit způsob měření podle konkrétních potřeb. V této studii byla ověřena dobrá výkonnost obrazové analýzy ve srovnání se standardním kolorimetrickým měřením. Ve srovnání s měřením spektrofotometry je však obrazová analýza zdoluhavější metoda, proto by bylo vhodné se zaměřit na zdokonalení této měřicí techniky. Tato studie ukazuje na možné rozdíly mezi různými měřicími technikami, což může být nápomocno při volbě vhodného prostředku měření barevnosti.

Posledním krokem této práce byl návrh nastavení rovnic pro výpočty rozdílů barev AUDI2000 a CIE2000. K posouzení účinnosti diferenčních rovnic bylo provedeno hodnocení vzorků vizuální metodou. S výsledky vizuálního hodnocení byly porovnány výsledné hodnoty získané pomocí rovnic pro výpočty barevných diferencí AUDI2000 a CIE2000. Testováno bylo mnoho variant nastavení parametrů diferenčních rovnic a pro každou z rovnic bylo vybráno nastavení vedoucí k co možná nejlepším výsledkům. Požadavky na výsledky diferenčních rovnic se mohou lišit a přizpůsobují se konkrétním potřebám. Pro tuto práci byly nastaveny požadavky na co nejlepší souvztažnost měření vizuálního s měřením přístrojovým, s ohledem na výsledky hodnotících kritérií diferenčních rovnic. U všech tří sad vzorků dosáhla diferenční rovnice AUDI2000 ve srovnání s diferenční rovnicí CIE2000 lepší výkonnosti. U strukturních vzorků a vzorků s jemným homogenním povrchem nebyl mezi rovnicemi zaznamenán výrazný rozdíl, ale u sady textilních vzorků byla výkonnost diferenční rovnice AUDI2000 podstatně lepší. Tato práce potvrdila předpoklady o vhodnosti použití diferenční rovnice AUDI2000 pro textilní materiály, ale tento závěr je třeba potvrdit rozsáhlejšími testováními. Pro tuto studii byly vybrány velice různorodé vzorky, a to i v jednotlivých sadách. Výsledky hodnotících kritérií tato rozmanitost ovlivnila k horšímu, ale právě to může být nápomocno při plánování experimentu, který by se zabýval ověřením diferenční rovnice pro použití v textilním průmyslu detailněji. Výsledky výkonnosti diferenční rovnice by byly s velkou pravděpodobností lepší při výběru kompaktnějších sad vzorků, např. podobných strukturních vlastností, lesku, povrchových úprav, barev.

10 Seznam literatury a zdrojů

- [1] A. Filip, „Nauka o Barvách,“ MUNI - Masarykova Univerzita, 9. 5. 2014. [Online]. Available: https://is.muni.cz/el/1421/jaro2014/IM081/um/VK05_Nauka_o_barvach.pdf. [Přístup získán 8. 2. 2019].
- [2] A. Popelková, „Kolorimetrie,“ SERVIS CENTRUM, 20. 5. 2016. [Online]. Available: <http://www.sc-brno.cz/blog/kolorimetrie>. [Přístup získán 3. 8. 2019].
- [3] M. Vik, Měření barevnosti a vzhledu v průmyslové praxi, Liberec: VÚTS, a.s., 2015.
- [4] J. Reichl, „Encyklopedie fyziky: Barva světla a barva tělesa,“ 2006-2019. [Online]. Available: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/544-barva-svetla-a-barva-telesa>. [Přístup získán 8. 2. 2019].
- [5] V. Hlaváč, „Barva, barevné obrazy a správa barev,“ [Online]. Available: <http://people.ciirc.cvut.cz/~hlavac/TeachPresCz/11DigZprObr/04ColorImagCz.pdf>. [Přístup získán 19 06 2020].
- [6] M. L. Gulrajani, Colour measurement, Philadelphia: Elsevier, 2010.
- [7] P. Šulcová, „Vyjadřování a hodnocení barev,“ Univerzita Pardubice, 2012. [Online]. Available: <http://konference.osu.cz/svk/sbornik2012/pdf/budoucnost/chemie/sulcova.pdf>. [Přístup získán 8. 2. 2019].
- [8] V. Kohout, „Historie a elementární základy teorie barev III,“ Nakladatelství Fraus, s.r.o., Plzeň, 2. 2013. [Online]. Available: https://sf.zcu.cz/data/2013/sf2013_02_8.pdf. [Přístup získán 8. 2. 2019].
- [9] O. Panák, „Měření barevnosti,“ Věda pro papírové artefakty (VEPA), 25. 8. 2017. [Online]. Available: <https://fcht.upce.cz/sites/default/files/public/luva3059/merenibarevnosti.pdf>. [Přístup získán 8. 2. 2019].
- [10] P. Baxant, „Světelná technika,“ VUT Brno, 5. 2013. [Online]. Available: http://www.ueen.feec.vutbr.cz/cz/images/stories/OPVK_ePower/MSVT/Ucebni_text_MSV_T.pdf. [Přístup získán 30. 7. 2019].
- [11] „Teplota chromatičnosti,“ Mendělejevova Univerzita v Brně, 1999. [Online]. Available: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=9104. [Přístup získán 30. 7. 2019].
- [12] K. Sokanský, T. Novák, M. Bálský, Z. Bláha, Z. Carbol, D. Diviš, B. Socha, J. Šnobl, J. Šumpich a P. Závada, Světelná technika, sv. 255, Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011.
- [13] J. Habel, „Světlo, časopis pro světlo a osvětlení: Základy světelné techniky (5),“ Odborné časopisy, 19. 11. 2009. [Online]. Available: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/zaklady-svetelne-techniky-5--15757>. [Přístup získán 30. 7. 2019].
- [14] M. Vik, Základy měření barevnosti, Liberec: TUL, 1995.

- [15] „ČMI - Český metrologický institut,“ Český metrologický institut, [Online]. Available: <https://www.cmi.cz/>. [Přístup získán 30. 7. 2019].
- [16] O. Zmeškal, M. Čeppan a P. Dzik, „Barevné prostory a správa barev,“ VUT v Brně, [Online]. Available: <https://slideplayer.cz/slide/3134542/>. [Přístup získán 8. 8. 2019].
- [17] K. Volhejnová, Vizuální hodnocení barevných rozdílů a barevné preference, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007.
- [18] „Color Representation,“ studylib.net, 2013-2020. [Online]. Available: <https://studylib.net/doc/10086294/image-science-and-technology>. [Přístup získán 20 06 2020].
- [19] M. Suda, „H2SI - A New Perceptual Colour Space,“ 07 2013. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/246546361_H2SI_-_A_New_Perceptual_Colour_Space/citation/download. [Přístup získán 20 06 2020].
- [20] W. Mokrzycki a M. Tatol, „Color difference Delta E - A survey,“ *Machine Graphics and Vision*, sv. 20, č. 4, p. 383–411, 2011.
- [21] „Guidelines for Thermoplastic Color Control and Change Management,“ Tech Briefs Media Group, 2009 - 2020. [Online]. Available: <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/techbriefs/bio-medical/13285>. [Přístup získán 20 06 2020].
- [22] „Color Space: CIE Lch/HCL,“ Coursera, 2020. [Online]. Available: <https://www.coursera.org/lecture/information-visualization-applied-perception/color-space-cie-lch-hcl-qaXrS>. [Přístup získán 20 06 2020].
- [23] E. J. J. Kirchner a J. Ravi, „Setting tolerances on color and texture for automotive coatings,“ *Col. Res. Appl.*, sv. 39, č. 1, p. 88–98, 2014.
- [24] T. Mouw, „Tolerancing Part 3: Color Space vs. Color Tolerance,“ X-Rite, 3. 2018. [Online]. Available: <https://www.xrite.com/blog/tolerancing-part-3>. [Přístup získán 1. 9. 2019].
- [25] „Tolerancing Part3: Color Space vs. Color Tolerance,“ x-rite, 2020. [Online]. Available: <https://www.xrite.com/blog/tolerancing-part->. [Přístup získán 20 06 2020].
- [26] T. Dauser, „Color Management at AUDI,“ Audi, 3. 2012. [Online]. Available: <https://detroitcc.org/wp-content/uploads/2018/07/Color-Management-at-AUDI-DCC-March-2012.pdf>. [Přístup získán 8. 2. 2019].
- [27] M. Melgosa, L. Gómez-Robledo, G. Cui, C. Li, E. Perales, F. Martínez-Verdú a T. Dauser, „Measuring color differences in gonioapparent materials used in the automotive industry,“ *J. Phys. Conf. Ser.*, sv. 605, č. 1, p. 012006, 2015.
- [28] F. J. Burgos, E. Perales, O. Gómez, E. Chorro, V. Viqueira, F. M. Martínez-Verdú a J. Pujol, „Instrumental and visual correlation between a multiangle spectrophotometer and a directional lighting booth,“ v *12th International AIC Congress*, Newcastle upon Tyne, 2013.
- [29] M. Melgosa, J. Martínez-García, L. Gómez-Robledo, E. Perales, M. Francisco, M.

- Martínez-Verdú a T. Dauser, „Measuring color differences in automotive samples with lightness flop: A test of the AUDI2000 color-difference formula,“ University of Granada, 2014.
- [30] J. Pelikán, „Reflexní modely (BRDF),“ 2017. [Online]. Available: <https://cgg.mff.cuni.cz/~pepca/lectures/pdf/pg2-05-brdf.en.pdf>. [Přístup získán 20 06 2020].
- [31] P. Kadleček, „Odraz světla, BRDF,“ 2011. [Online]. Available: <https://cgg.mff.cuni.cz/~jaroslav/teaching/2011-pg3/poznamky/03%20-%20odraz%20svetla,%20BRDF.pdf>. [Přístup získán 20 06 2020].
- [32] J. Křivánek, „docplayer.cz,“ 2012. [Online]. Available: <https://docplayer.cz/118854745-Pocitacova-grafika-iii-odraz-svetla-brdf-jaroslav-krivanek-mff-uk.html>. [Přístup získán 12 12 2019].
- [33] J. Křivánek, „Subsurface scattering,“ [Online]. Available: <https://cgg.mff.cuni.cz/~jaroslav/teaching/2011-npgr031/11-stgi-subsurface%20scattering%20-%20slides.pdf>. [Přístup získán 20 06 2020].
- [34] H. W. Jensen, *Realistic Image Synthesis Using Photon Mapping*, Natick (Massachussets): A K Peters, 2009.
- [35] „Computer Graphics 1,“ 2018. [Online]. Available: <http://mrl.cs.vsb.cz/people/fabian/pg1/pr07.pdf>. [Přístup získán 22 12 2019].
- [36] G. Kigle-Böckler, „New and innovative testing technologies for effect finishes,“ v *Proceedings of the 11th congress of the International Colour Association*, Sydney, 2009.
- [37] O. Gómez, E. Perales, E. Chorro, F. J. Burgos, V. Viqueira, M. M. F. M. Vilaseca a J. Pujol, „Visual and instrumental assessments of color differences in automotive coatings,“ *Color Res. Appl.*, sv. 141, č. 4, p. 384–391, 2015.
- [38] M. Košťál a F. Spurný, *Autolakýrník*, Plzeň: F.S. Publishing, 2004.
- [39] P. Gerhard, „Fascinating displays of colour,“ 2020. [Online]. Available: <https://q-more.chemeurope.com/q-more-articles/190/fascinating-displays-of-colour.html>. [Přístup získán 22 12 2019].
- [40] BYKmktg, „45°:0 Correlation to Multi-Angle Spectrophotometers,“ 2020. [Online]. Available: <https://measurewhatyousee.com/author/babacita/>. [Přístup získán 20 06 2020].
- [41] „Dokonale zvládnuté barvy,“ [Online]. Available: https://www.servind.cz/media/document/dokonale_zvladnute_barvy_201309.pdf. [Přístup získán 20 12 2019].
- [42] „Classification of fibres and their general properties,“ 2012. [Online]. Available: <https://nptel.ac.in/courses/116/102/116102026/>. [Přístup získán 20 06 2020].
- [43] A. Voloboy, V. A. Galaktionov a N. A. Lobalzo, „Simulation and rendering algorithms for optically complex materials by the example of fabric,“ *Programming and computer software*, č. 4, pp. 237-246, 2010.
- [44] J. H. Bae, K. H. Hong a T. M. Lamar, „Effect of Texture on Color Variation in Inkjet-

- Printed Woven Textiles,“ *Color Research & Application*, sv. 40, č. 3, pp. 297-303, 2015.
- [45] A. Moussa, D. Dupont, D. Steen, X. Zeng a M. Elias, „Experimental study of back - scattering spectrum of textile structures,“ *Color research & application*, sv. 31, pp. 1220-0132, 2006.
- [46] M. Pechová, *Vliv intenzity osvětlení na rozlišování malých barevných rozdílů*, Technická univerzita v Liberci, 2014.

11 Seznam tabulek

TABULKA 1. DOPORUČENÉ NASTAVENÍ PARAMETRICKÝCH FUNKCÍ	33
TABULKA 2. PARAMETRY TEXTILNÍCH VZORKŮ.....	43
TABULKA 3. NAMĚŘENÉ HODNOTY LESKU [GU]	45
TABULKA 4. NASTAVENÉ PARAMETRY FOTOAPARÁTU PŘI SNÍMÁNÍ VZORKŮ.	50
TABULKA 5. PŘEHLED RESPONDENTŮ, POHLAVÍ, ROK NAROZENÍ A KOREKCE VIDĚNÍ. .	66
TABULKA 6. ROZDĚLENÍ RESPONDENTŮ DO KATEGORIÍ.	67
TABULKA 7. VÝSLEDNÉ HODNOTY A JEJICH GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ V ZÁKLADNÍM NASTAVENÍ ROVNICE CIE2000 SADY TEXTILNÍCH VZORKŮ.	71
TABULKA 8. VÝSLEDNÉ HODNOTY A JEJICH GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ OPTIMALIZOVANÉHO NASTAVENÍ ROVNICE CIE2000 SADY TEXTILNÍCH VZORKŮ. .	71
TABULKA 9. VÝSLEDNÉ HODNOTY A JEJICH GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ V ZÁKLADNÍM NASTAVENÍ ROVNICE AUDI2000 SADY TEXTILNÍCH VZORKŮ.	71
TABULKA 10. VÝSLEDNÉ HODNOTY A JEJICH GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ OPTIMALIZOVANÉHO NASTAVENÍ ROVNICE AUDI2000 SADY TEXTILNÍCH VZORKŮ.	71
TABULKA 11. VÝSLEDNÉ HODNOTY A JEJICH GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ V ZÁKLADNÍM NASTAVENÍ ROVNICE CIE2000 SADY STRUKTURNÍCH VZORKŮ.....	72
TABULKA 12. VÝSLEDNÉ HODNOTY A JEJICH GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ OPTIMALIZOVANÉHO NASTAVENÍ ROVNICE CIE2000 SADY STRUKTURNÍCH VZORKŮ.....	72
TABULKA 13. VÝSLEDNÉ HODNOTY A JEJICH GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ V ZÁKLADNÍM NASTAVENÍ ROVNICE AUDI2000 SADY STRUKTURNÍCH VZORKŮ.	73
TABULKA 14. VÝSLEDNÉ HODNOTY A JEJICH GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ OPTIMALIZOVANÉHO NASTAVENÍ ROVNICE AUDI2000 SADY STRUKTURNÍCH VZORKŮ.....	73
TABULKA 15. VÝSLEDNÉ HODNOTY A JEJICH GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ V ZÁKLADNÍM NASTAVENÍ ROVNICE CIE2000 SADY VZORKŮ S JEMNÝM HOMOGENNÍM POVRCHEM.	74
TABULKA 16. VÝSLEDNÉ HODNOTY A JEJICH GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ OPTIMALIZOVANÉ ROVNICE CIE2000 SADY VZORKŮ S JEMNÝM HOMOGENNÍM POVRCHEM.	74

TABULKA 17. VÝSLEDNÉ HODNOTY A JEJICH GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ V ZÁKLADNÍM NASTAVENÍ ROVNICE AUDI2000 SADY VZORKŮ S JEMNÝM HOMOGENNÍM POVRCHEM.	74
TABULKA 18. VÝSLEDNÉ HODNOTY A JEJICH GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ OPTIMALIZOVANÉHO NASTAVENÍ ROVNICE AUDI2000 SADY VZORKŮ S JEMNÝM HOMOGENNÍM POVRCHEM.	74
TABULKA 19. NÁVRH NASTAVENÍ DIFERENČNÍ ROVNICE AUDI2000.	75
TABULKA 20. VÝSLEDKY HODNOTÍCÍCH KRITÉRIÍ DIFERENČNÍ ROVNICE PŘED ÚPRAVOU A PO ÚPRAVĚ VÁHOVÝCH FUNKCÍ.	76
TABULKA 21. VÝSLEDKY NÁVRHU NASTAVENÍ DIFERENČNÍCH ROVNIC CIE2000 A AUDI2000.	77
TABULKA 22. BAREVNOST VZORKŮ, MĚŘENÉ POLOHY U BAREVNÝCH VZORKŮ A JEJICH NAMĚŘENÉ HODNOTY L*, A*, B*, JEDNOTLIVÝMI SPEKTROFOTOMETRY.	96
TABULKA 23. NAMĚŘENÉ KOLORIMETRICKÉ HODNOTY L*, A*, B*, POMOCÍ OBRAZOVÉ ANALÝZY PŘI NATÁČENÍ VZORKŮ V ÚHLU Φ U TEXTILNÍCH VZORKŮ.	105
TABULKA 24. NAMĚŘENÉ KOLORIMETRICKÉ HODNOTY L*, A*, B*, POMOCÍ OBRAZOVÉ ANALÝZY PŘI NATÁČENÍ VZORKŮ V ÚHLU Φ U STRUKTURNÍCH VZORKŮ.	110
TABULKA 25. NAMĚŘENÉ KOLORIMETRICKÉ HODNOTY L*, A*, B*, POMOCÍ OBRAZOVÉ ANALÝZY PŘI NATÁČENÍ VZORKŮ V ÚHLU Φ U TEXTILNÍCH VZORKŮ.	112
TABULKA 26. NAMĚŘENÉ KOLORIMETRICKÉ HODNOTY L*, A*, B*, OBRAZOVOU ANALÝZOU PŘI NATÁČENÍ VZORKŮ V ÚHLECH Φ A V HORIZONTÁLNÍ OSE TEXTILNÍCH VZORKŮ.	114
TABULKA 27. NAMĚŘENÉ KOLORIMETRICKÉ HODNOTY L*, A*, B*, OBRAZOVOU ANALÝZOU PŘI NATÁČENÍ VZORKŮ V ÚHLECH Φ A V HORIZONTÁLNÍ OSE STRUKTURNÍCH VZORKŮ.	116
TABULKA 28. NAMĚŘENÉ KOLORIMETRICKÉ HODNOTY L*, A*, B*, OBRAZOVOU ANALÝZOU PŘI NATÁČENÍ VZORKŮ V ÚHLECH Φ A V HORIZONTÁLNÍ OSE U VZORKŮ S JEMNÝM HOMOGENNÍM POVRCHEM.	118
TABULKA 29. VÝSLEDKY NAMĚŘENÝCH KOLORIMETRICKÝCH HODNOT L*, A*, B* SPEKTROFOTOMETRY A OBRAZOVOU ANALÝZOU.	121
TABULKA 30. VÝSLEDKY A GRAFY POLÁRNÍCH SOUŘADNIC TESTU BARVOCITU MUNSELL 100 HUE TEST.	123
TABULKA 31. VÝSLEDKY VIZUÁLNÍHO HODNOCENÍ VZORKŮ V ÚHLECH NAKLOPENÍ VZORKU V HORIZONTÁLNÍ ROVINĚ 10°, 20°, 30°, 40°.	127
TABULKA 32. HODNOTY DE DIFERENČNÍCH ROVNIC CIE2000 A AUDI2000 V ORIGINÁLNÍM NASTAVENÍ ROVNIC A NAVRŽENÉ NASTAVENÍ ROVNIC TEXTILNÍCH VZORKŮ.	130
TABULKA 33. HODNOTY DE DIFERENČNÍCH ROVNIC CIE2000 A AUDI2000 V ORIGINÁLNÍM NASTAVENÍ ROVNIC A NAVRŽENÉ NASTAVENÍ ROVNIC STRUKTURNÍCH VZORKŮ.	131
TABULKA 34. HODNOTY DE DIFERENČNÍCH ROVNIC CIE2000 A AUDI2000 V ORIGINÁLNÍM NASTAVENÍ ROVNIC A NAVRŽENÉ NASTAVENÍ ROVNIC VZORKŮ S JEMNÝM HOMOGENNÍM POVRCHEM.	132

12 Seznam obrázků

OBRÁZEK 1. ZÁVISLOST INTENZITY DANÉHO SVĚTLA NA VLNOVÉ DÉLCE PRO TŘI RŮZNÉ TÓNY BAREV STEJNÝCH SYTOSTÍ A STEJNÉHO JASU (BARVY KŘIVEK NEODPOVÍDAJÍ BARVÁM SVĚTEL). [4]	12
OBRÁZEK 2. ZNÁZORNĚNÍ TŘÍ MOŽNOSTÍ SYTOSTI JEDNÉ BARVY. [4]	13
OBRÁZEK 3. GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ PRŮBĚHŮ BARVY RŮZNÉHO JASU (STEJNÉHO TÓNU BARVY A STEJNÉ SYTOSTI). [4]	13
OBRÁZEK 4. ZNÁZORNĚNÍ ODSTÍNU (HUE), SYTOSTI (SATURATION) A JASU (VALUE). [5]	13
OBRÁZEK 5. BARVA TEPLoty. [12]	16
OBRÁZEK 6. SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ CIE GEOMETRICKÉHO USPOŘÁDÁNÍ PŘI MĚŘENÍ DRUHOTNÝCH ZDROJŮ. [3]	17
OBRÁZEK 7. PRŮBĚHY TRICHROMATICKÝCH ČLENŮ x , y , z . PRO 2° STANDARDNÍHO POZOROVATELE VYZNAČUJE PLNÁ ČÁRA A 10° STANDARDNÍHO POZOROVATELE VYZNAČUJE PŘERUŠOVANÁ ČÁRA. [16]	19
OBRÁZEK 8. KOLORIMETRICKÝ PROSTOR XYZ. [18]	20
OBRÁZEK 9. KOLORIMETRICKÝ PROSTOR XY. [18]	20
OBRÁZEK 10. ZNÁZORNĚNÍ TOLERANČNÍCH ELIPS V DIAGRAMU CIE XY. [19]	21
OBRÁZEK 11. SOUSTAVA CIELAB. [21]	22
OBRÁZEK 12. SCHÉMA KOLORIMETRICKÉHO PROSTORU CIELCH. [22]	23
OBRÁZEK 13. SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM BAREVNÉHO PROSTORU CIELCH. [3]	23
OBRÁZEK 14. ZNÁZORNĚNÍ BAREVNÉ DIFERENCE V KOLORIMETRICKÉM PROSTORU CIELAB. [20]	28
OBRÁZEK 15. ZNÁZORNĚNÍ BAREVNÉ TOLERANCE V KOLORIMETRICKÉM PROSTORU CIELAB. [20]	28
OBRÁZEK 16. ZOBRAZENÍ TOLERANČNÍHO PROSTORU CIELAB A UMÍSTĚNÍ TOLERANČNÍCH ELIPSOIDŮ ZNÁZORNŮJÍCÍCH VIZUÁLNĚ PŘIJATELNOU OBLAST. [VLASTNÍ ZDROJ]	29
OBRÁZEK 17. TOLERANČNÍ PROSTOR V SOUSTAVĚ CIELCH. [25]	29
OBRÁZEK 18. TOLERANČNÍ ELIPSOIDY ROVNICE CMC (LC). [25]	30
OBRÁZEK 19. ZMĚNY TVARU A VELIKOSTI TOLERANČNÍHO ELIPSOIDU POMOCÍ ROVNICE CMC (L:C). [20]	30
OBRÁZEK 20. ZNÁZORNĚNÍ OBOUSMĚRNÝCH DISTRIBUČNÍCH FUNKCÍ ODRAZU BRDF, PROPUSTNOSTI BTDF A ROZPTYLU BSSRDF. [30]	35
OBRÁZEK 21. OBOUSMĚRNÁ DISTRIBUČNÍ FUNKCE ODRAZU BRDF. [30]	35
OBRÁZEK 22. LINEARITA BRDF. [31]	36
OBRÁZEK 23. DRUHY BRDF. [31]	36
OBRÁZEK 24. BSSRDF. [33]	37
OBRÁZEK 25. SCHÉMA ZNÁZORNŮJÍCÍ VÍCEVRSTVÝ METALICKÝ BAREVNÝ NÁTĚR OBSAHUJÍCÍ NĚKOLIK DRUHŮ EFEKTNÍCH VLOČEK. [35]	38
OBRÁZEK 26. INTERAKCE SVĚTLA S EFEKTNÍMI PIGMENTY. [39]	39
OBRÁZEK 27. ASPEKULÁRNÍ POZOROVACÍ ÚHLY. [40]	39
OBRÁZEK 28. NEJBĚŽNĚJI POUŽÍVANÉ EFEKTIVNÍ PIGMENTY. [41]	40
OBRÁZEK 29. ODRAZ SVĚTLA RŮZNÝCH PRŮŘEZŮ VLÁKEN. [42]	41

OBRÁZEK 30. ODRAZ SVĚTLA PODLE ROVINY DOPADU A) PARALELNÍ PRŮŘEZ TKANINOU, B) ŠIKMÝ PRŮŘEZ TKANINOU 45°, C) KOLMÝ PRŮŘEZ TKANINOU. [45].	41
OBRÁZEK 31. SCHÉMA ODRAZU SVĚTLA A) VLÁKNO, B) PŘÍZE, C) VLASOVÁ TKANINA. [44].....	41
OBRÁZEK 32. SADA TEXTILNÍCH VZORKŮ. OZNAČENÍ VZORKŮ ZLEVA: TIBET 1, TIBET 2, TIBET 3, APOLLO 1, APOLLO 2, APOLLO 3, TOPAS 1, TOPAS 2, TOPAS 3.	42
OBRÁZEK 33. SADA STRUKTURNÍCH VZORKŮ. OZNAČENÍ VZORKŮ ZLEVA: D393-VZOROVANÝ, 3500, 4001, 1320, 9355, E001, D393 – JEDNOBAREVNÝ, 9350.....	44
OBRÁZEK 34. SADA HLADKÝCH VZORKŮ. OZNAČENÍ VZORKŮ ZLEVA: 2000, E001, 1700, 4001, 1502, 1320, 3500, 2001, 5000, 1542.....	44
OBRÁZEK 35. ZNÁZORNĚNÍ NAMĚŘENÝCH KOLORIMETRICKÝCH HODNOT SPEKTRFOTOMETRY U STRUKTURNÍHO VZORKU D393 A SNÍMEK STRUKTURY VZORKU.....	47
OBRÁZEK 36. ZNÁZORNĚNÍ NAMĚŘENÝCH KOLORIMETRICKÝCH HODNOT SPEKTRFOTOMETRY U VZORKU S JEMNÝM HOMOGENNÍM POVRCHEM 1700 A SNÍMEK STRUKTURY VZORKU.....	47
OBRÁZEK 37. KOLORIMETRICKÉ HODNOTY MĚRNÉ SVĚTLOSTI L* NAMĚŘENÉ PŘI ÚHLOVÉM OSVĚTLENÍ 45° A SNÍMÁNÍ V 0°, V ZÁVISLOSTI NA HODNOTÁCH MĚŘENÍ CELKOVÉHO ČINITELE SPEKTRÁLNÍHO ODRAZU.....	48
OBRÁZEK 38. KOLORIMETRICKÉ HODNOTY MĚRNÉ SVĚTLOSTI L* NAMĚŘENÉ PŘI ÚHLOVÉM OSVĚTLENÍ 45° A SNÍMÁNÍ V 0°, V ZÁVISLOSTI NA HODNOTÁCH MĚŘENÍ POMĚRNÉHO ČINITELE SPEKTRÁLNÍHO ODRAZU.	48
OBRÁZEK 39. KOLORIMETRICKÉ HODNOTY BAREVNÉ SOUŘADNICE A* NAMĚŘENÉ PŘI ÚHLOVÉM OSVĚTLENÍ 45° A SNÍMÁNÍ V 0°, V ZÁVISLOSTI NA HODNOTÁCH MĚŘENÍ CELKOVÉHO ČINITELE SPEKTRÁLNÍHO ODRAZU.....	49
OBRÁZEK 40. KOLORIMETRICKÉ HODNOTY BAREVNÉ SOUŘADNICE A* NAMĚŘENÉ PŘI ÚHLOVÉM OSVĚTLENÍ 45° A SNÍMÁNÍ V 0°, V ZÁVISLOSTI NA HODNOTÁCH MĚŘENÍ POMĚRNÉHO ČINITELE SPEKTRÁLNÍHO ODRAZU.	49
OBRÁZEK 41. KOLORIMETRICKÉ HODNOTY BAREVNÉ SOUŘADNICE B* NAMĚŘENÉ PŘI ÚHLOVÉM OSVĚTLENÍ 45° A SNÍMÁNÍ V 0°, V ZÁVISLOSTI NA HODNOTÁCH MĚŘENÍ CELKOVÉHO ČINITELE SPEKTRÁLNÍHO ODRAZU.....	49
OBRÁZEK 42. KOLORIMETRICKÉ HODNOTY BAREVNÉ SOUŘADNICE B* NAMĚŘENÉ PŘI ÚHLOVÉM OSVĚTLENÍ 45° A SNÍMÁNÍ V 0°, V ZÁVISLOSTI NA HODNOTÁCH MĚŘENÍ POMĚRNÉHO ČINITELE SPEKTRÁLNÍHO ODRAZU.	49
OBRÁZEK 43. ZNÁZORNĚNÍ NATÁČENÍ VZORKŮ VE VERTIKÁLNÍ OSE (ZMĚNA ÚHLŮ Φ) HORIZONTÁLNÍ OSE (ZMĚNA ÚHLŮ Θ).....	51
OBRÁZEK 44. TEXTILNÍ VZOREK TIBET 2. VIZUÁLNÍ A NUMERICKÝ PRŮBĚH ZMĚN PŘI OTÁČENÍ VZORKU V ÚHLU Φ	52
OBRÁZEK 45. TEXTILNÍ VZOREK APOLLO 1. VIZUÁLNÍ A NUMERICKÝ PRŮBĚH ZMĚN PŘI OTÁČENÍ VZORKU V ÚHLU Φ	53
OBRÁZEK 46. STRUKTURNÍ VZOREK 1320. VIZUÁLNÍ A NUMERICKÝ PRŮBĚH ZMĚN PŘI OTÁČENÍ VZORKU V ÚHLU Φ	53
OBRÁZEK 47. STRUKTURNÍ VZOREK 9355. VIZUÁLNÍ A NUMERICKÝ PRŮBĚH ZMĚN PŘI OTÁČENÍ VZORKU V ÚHLU Φ	54
OBRÁZEK 48. VZOREK S JEMNÝM HOMOGENNÍM POVRCHEM 1320. VIZUÁLNÍ A NUMERICKÝ PRŮBĚH ZMĚN PŘI OTÁČENÍ VZORKU V ÚHLU Φ	54

OBRÁZEK 49. PODSTAVEC PRO SNÍMÁNÍ VZORKŮ PŘI NATÁČENÍ VE DVOU OSÁCH.	56
OBRÁZEK 50. STRUKTURNÍ VZOREK 3500. PRŮBĚH ZMĚN VIZUÁLNÍCH A KOLORIMETRICKÝCH HODNOT PŘI ZMĚNĚ ÚHLU Φ O 90° V ÚHLU NAKLONĚNÍ HORIZONTÁLNÍ ROVINY 0°	57
OBRÁZEK 51. STRUKTURNÍ VZOREK 3500. PRŮBĚH ZMĚN VIZUÁLNÍCH A KOLORIMETRICKÝCH HODNOT PŘI ZMĚNĚ ÚHLU Φ O 90° V ÚHLU NAKLONĚNÍ HORIZONTÁLNÍ ROVINY 30°	57
OBRÁZEK 52. VZOREK 5000 S JEMNÝM HOMOGENNÍM POVRCHEM. PRŮBĚH ZMĚN VIZUÁLNÍCH A KOLORIMETRICKÝCH HODNOT PŘI ZMĚNĚ ÚHLU Φ O 90° V ÚHLU NAKLONĚNÍ HORIZONTÁLNÍ ROVINY 20°	57
OBRÁZEK 53. PRŮBĚH ZMĚN MĚRNÉ SVĚTLOSTI L^* PŘI OTÁČENÍ VZORKU V ÚHLU Φ U STRUKTURNÍHO VZORKU 3500 A VZORKU S JEMNÝM HOMOGENNÍM POVRCHEM 3500.	58
OBRÁZEK 54. ODRAZ SVĚTLA PŘI NAKLÁNĚNÍ VZORKU V POLOZE HORIZONTÁLNÍ OSY 0°	59
OBRÁZEK 55. ODRAZ SVĚTLA PŘI NAKLOPENÍ VZORKU V HORIZONTÁLNÍ OSE 30°	59
OBRÁZEK 56. ZNÁZORNĚNÍ PRŮBĚHU ZMĚN KOLORIMETRICKÝCH HODNOT L^* , A^* , B^* STRUKTURNÍHO VZORKU E001 PŘI NATÁČENÍ VZORKU V HORIZONTÁLNÍ OSE.....	60
OBRÁZEK 57. ZNÁZORNĚNÍ PRŮBĚHU ZMĚN SYTOSTI BARVY C^* V ZÁVISLOSTI NA MĚRNÉ SVĚTLOSTI L^* STRUKTURNÍHO VZORKU E001, PŘI NATÁČENÍ VZORKU V HORIZONTÁLNÍ OSE.	60
OBRÁZEK 58. SNÍMKY VZORKU TIBET 1. ÚHEL $\Phi = 0^\circ$, ÚHEL NAKLONĚNÍ HORIZONTÁLNÍ ROVINY ZLEVA: 0° , 10° , 20° , 30° , 40°	60
OBRÁZEK 59. ZNÁZORNĚNÍ PRŮBĚHU ZMĚN KOLORIMETRICKÝCH HODNOT L^* , A^* , B^* TEXTILNÍHO VZORKU TIBET 1, PŘI NAKLÁNĚNÍ VZORKU V HORIZONTÁLNÍ OSE.....	61
OBRÁZEK 60. ZNÁZORNĚNÍ PRŮBĚHU ZMĚN SYTOSTI BARVY C^* V ZÁVISLOSTI NA MĚRNÉ SVĚTLOSTI L^* TEXTILNÍHO VZORKU TIBET 1, PŘI NAKLÁNĚNÍ VZORKU V HORIZONTÁLNÍ OSE.	61
OBRÁZEK 61. SNÍMKY VZORKU S JEMNÝM HOMOGENNÍM POVRCHEM 1542. ÚHEL $\Phi = 0^\circ$, ÚHEL NAKLONĚNÍ VZORKU V HORIZONTÁLNÍ OSE ZLEVA: 0° , 10° , 20° , 30° , 40°	61
OBRÁZEK 62. ZNÁZORNĚNÍ PRŮBĚHU ZMĚN KOLORIMETRICKÝCH HODNOT L^* , A^* , B^* VZORKU S JEMNÝM HOMOGENNÍM POVRCHEM 1542, PŘI NAKLÁNĚNÍ VZORKU V HORIZONTÁLNÍ OSE.	62
OBRÁZEK 63. ZNÁZORNĚNÍ PRŮBĚHU ZMĚN SYTOSTI BARVY C^* V ZÁVISLOSTI NA MĚRNÉ SVĚTLOSTI L^* VZORKU S JEMNÝM HOMOGENNÍM POVRCHEM 1542, PŘI NAKLÁNĚNÍ VZORKU V HORIZONTÁLNÍ OSE.	62
OBRÁZEK 64. ZNÁZORNĚNÍ PRŮBĚHU ZMĚN KOLORIMETRICKÝCH HODNOT L^* , A^* , B^* VZORKU S JEMNÝM HOMOGENNÍM POVRCHEM 3500, PŘI NAKLÁNĚNÍ VZORKU V HORIZONTÁLNÍ OSE.	62
OBRÁZEK 65. SROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT MĚRNÉ SVĚTLOSTI L^* SPEKTRIFOTOMETRICKY A OBRAZOVOU ANALÝZOU.....	63
OBRÁZEK 66. SROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT KOLORIMETRICKÉ SOUŘADNICE A^* SPEKTRIFOTOMETRICKY A OBRAZOVOU ANALÝZOU.....	63
OBRÁZEK 67. SROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT KOLORIMETRICKÉ SOUŘADNICE B^* SPEKTRIFOTOMETRICKY A OBRAZOVOU ANALÝZOU.....	64
OBRÁZEK 68. FARNSWORTH-MUNSELL 100 HUE TEST.....	65

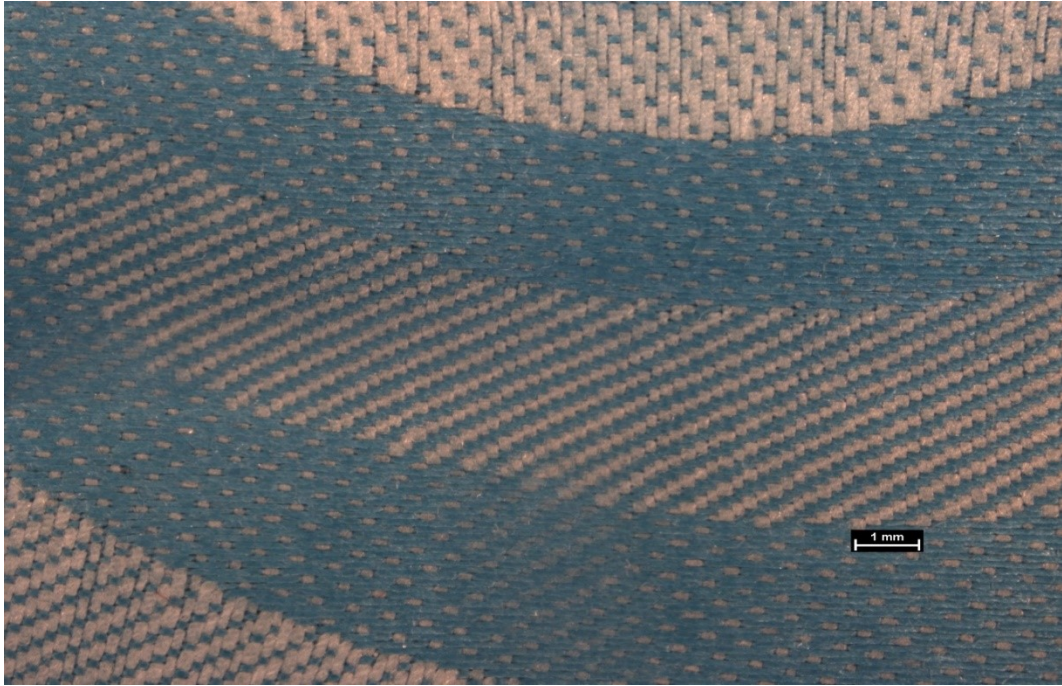
OBRÁZEK 69. GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ CHYBOVÉHO SKÓRE TES 0.	66
OBRÁZEK 70. GRAFY POLÁRNÍCH SOUŘADNIC VYBRANÝCH RESPONDENTŮ.	67
OBRÁZEK 71. ŠEDÁ STUPNICE.	68
OBRÁZEK 72. TEXTILNÍ VZOREK TIBET 1.	90
OBRÁZEK 73. TEXTILNÍ VZOREK TIBET 2.	90
OBRÁZEK 74. TEXTILNÍ VZOREK TIBET 3.	91
OBRÁZEK 75. TEXTILNÍ VZOREK APOLLO 1.	91
OBRÁZEK 76. TEXTILNÍ VZOREK APOLLO 2.	92
OBRÁZEK 77. TEXTILNÍ VZOREK APOLLO 3.	92
OBRÁZEK 78. TEXTILNÍ VZOREK TOPAS 1.	93
OBRÁZEK 79. TEXTILNÍ VZOREK TOPAS 2.	93
OBRÁZEK 80. TEXTILNÍ VZOREK TOPAS 3.	94
OBRÁZEK 81. GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ NAMĚŘENÝCH KOLORIMETRICKÝCH HODNOT JEDNOTLIVÝMI MĚŘÍCÍMI GEOMETRIEMI TEXTILNÍCH VZORKŮ.	100
OBRÁZEK 82. GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ NAMĚŘENÝCH KOLORIMETRICKÝCH HODNOT JEDNOTLIVÝMI MĚŘÍCÍMI GEOMETRIEMI STRUKTURNÍCH VZORKŮ.	101
OBRÁZEK 83. GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ NAMĚŘENÝCH KOLORIMETRICKÝCH HODNOT JEDNOTLIVÝMI MĚŘÍCÍMI GEOMETRIEMI VZORKŮ S JEMNÝM HOMOGENNÍM POVRCHEM.	103

13 Seznam příloh

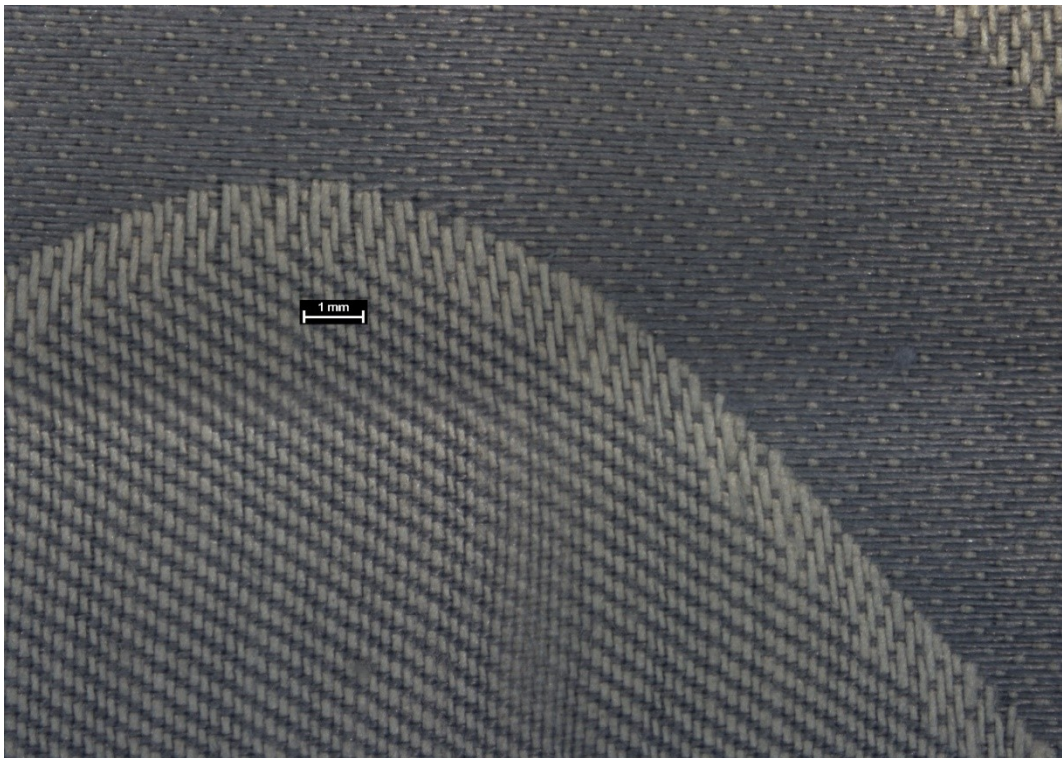
PŘÍLOHA 1: MAKROSKOPICKÉ SNÍMKY TEXTILNÍCH VZORKŮ, VELIKOST SNÍMANÉ PLOCHY VZORKU 2*2 CM.	89
PŘÍLOHA 2: NAMĚŘENÉ KOLORIMETRICKÉ HODNOTY L*, A*, B*, V TESTOVANÝCH MĚŘÍCÍCH GEOMETRIÍCH POMOCÍ SPEKTROFOTOMETRŮ.	95
PŘÍLOHA 3: GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ KOLORIMETRICKÝCH HODNOT SOUŘADNIC L*, A*, B* NAMĚŘENÝCH SPEKTROFOTOMETRY.	97
PŘÍLOHA 4: NAMĚŘENÉ KOLORIMETRICKÉ HODNOTY L*, A*, B*, POMOCÍ OBRAZOVÉ ANALÝZY PŘI NATÁČENÍ VZORKŮ V ÚHLU Φ	104
PŘÍLOHA 5: NAMĚŘENÉ KOLORIMETRICKÉ HODNOTY L*, A*, B*, OBRAZOVOU ANALÝZOU PŘI NATÁČENÍ VZORKŮ V ÚHLU Φ A V HORIZONTÁLNÍ OSE.	113
PŘÍLOHA 6: VÝSLEDKY NAMĚŘENÝCH KOLORIMETRICKÝCH HODNOT L*, A*, B* SPEKTROFOTOMETRY A OBRAZOVOU ANALÝZOU.	120
PŘÍLOHA 7: VÝSLEDKY A GRAFY POLÁRNÍCH SOUŘADNIC TESTU BARVOCITU MUNSSELL 100 HUE TEST.	122
PŘÍLOHA 8: VÝSLEDKY VIZUÁLNÍHO HODNOCENÍ VZORKŮ.	126
PŘÍLOHA 9: HODNOTY DE DIFERENČNÍCH ROVNIC CIE2000 AUDI2000 V ORIGINÁLNÍM NASTAVENÍ ROVNIC A NAVRŽENÉM NASTAVENÍ ROVNIC.	129



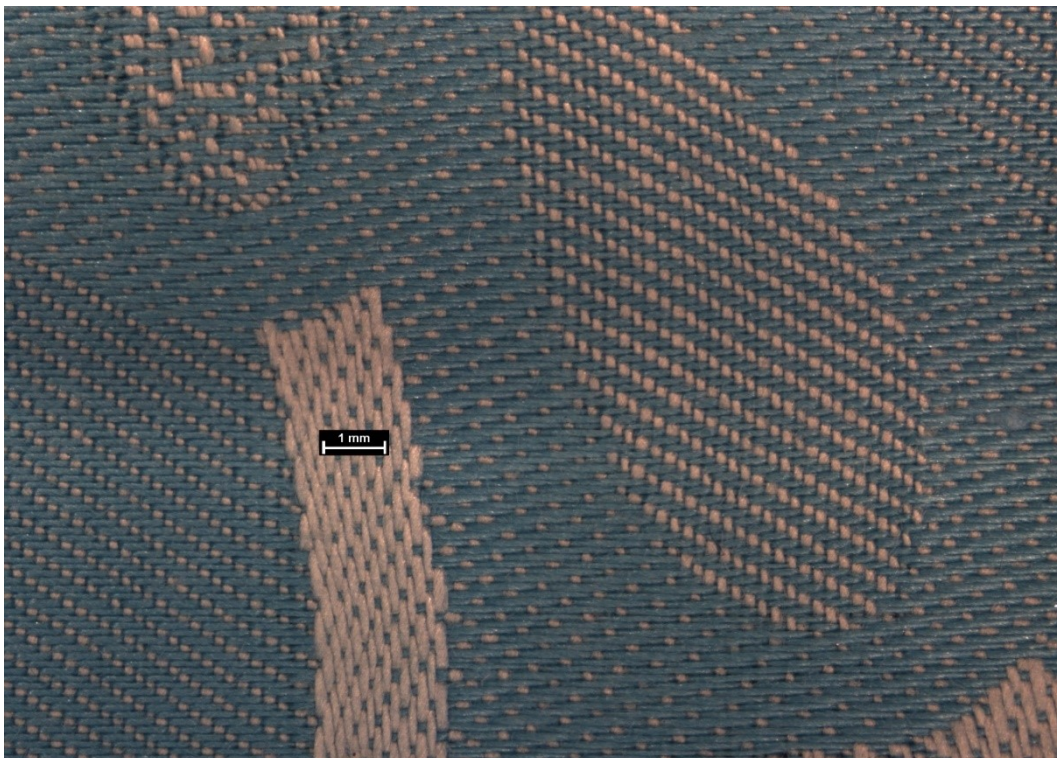
**Příloha 1: Makroskopické snímky textilních vzorků, velikost
snímané plochy vzorku 2*2 cm**



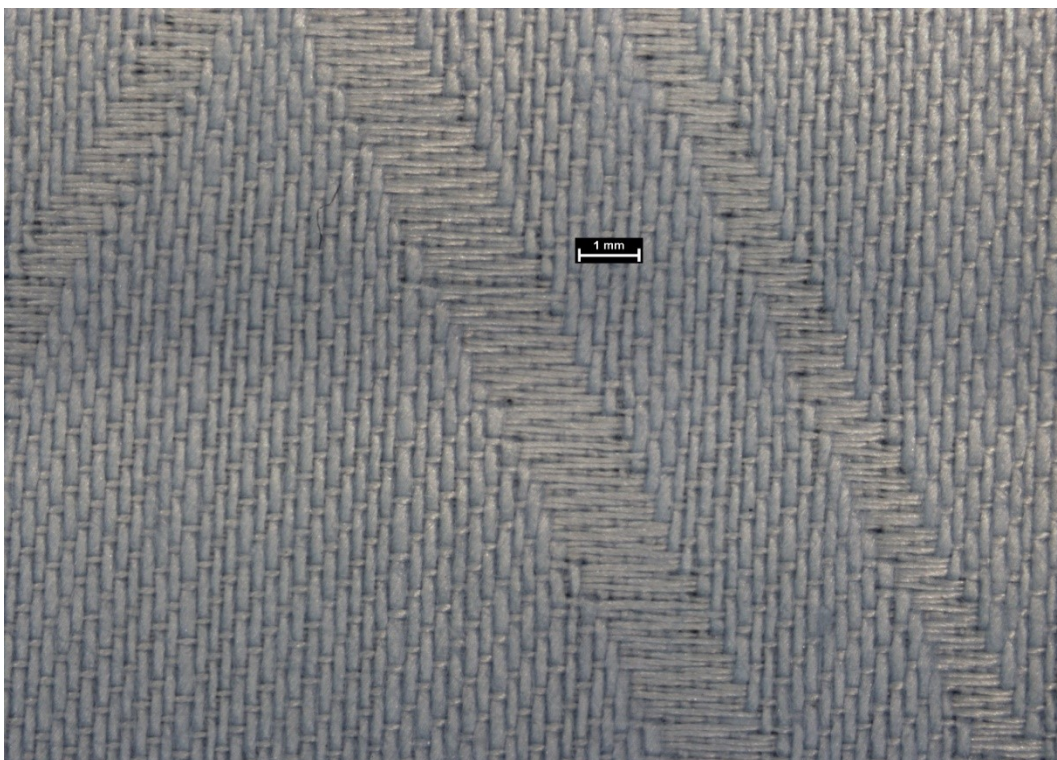
Obrázek 72. Textilní vzorek Tibet 1



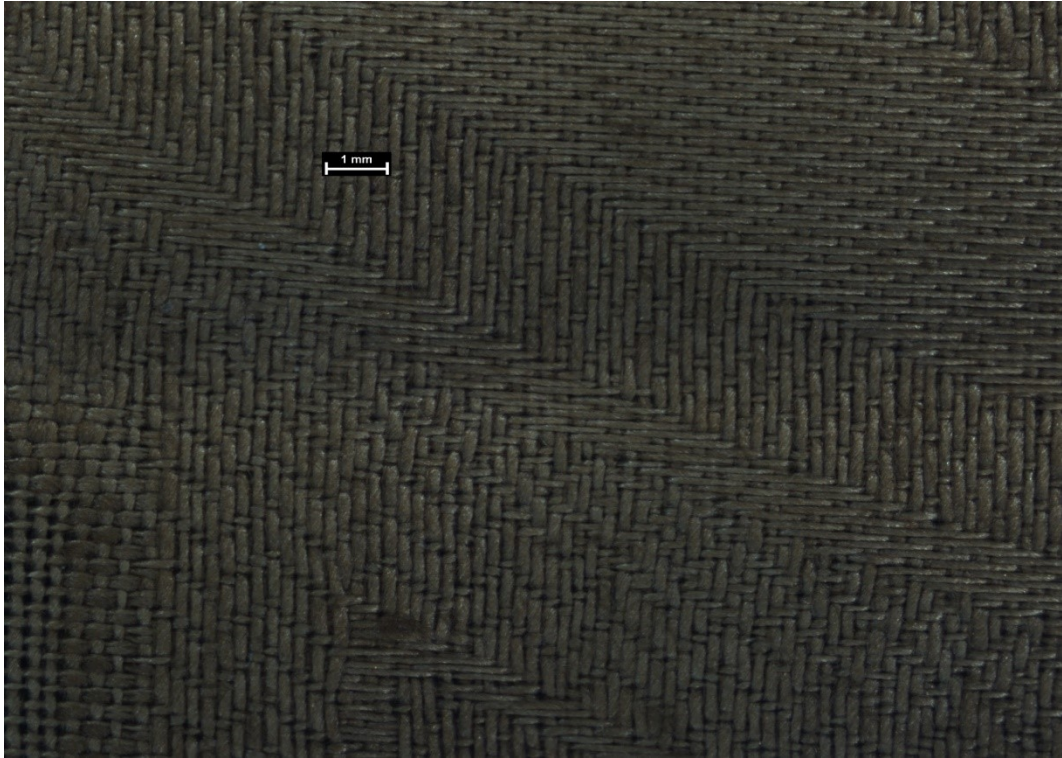
Obrázek 73. Textilní vzorek Tibet 2



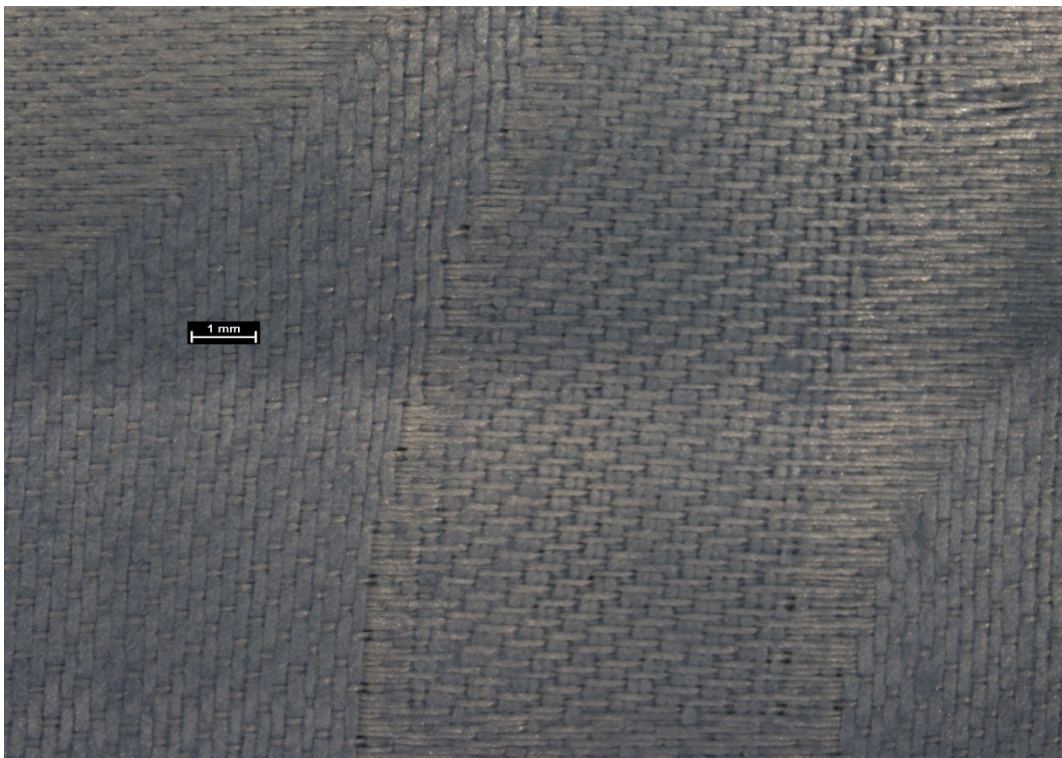
Obrázek 74. Textilní vzorek Tibet 3



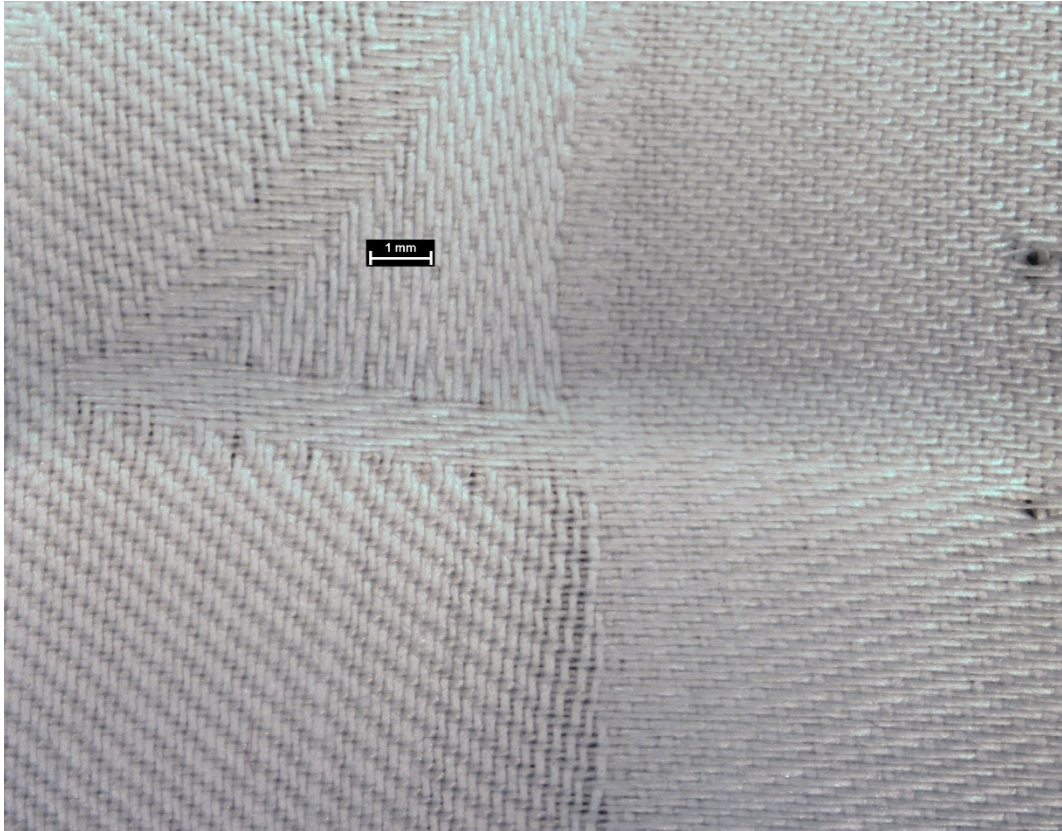
Obrázek 75. Textilní vzorek Apollo 1



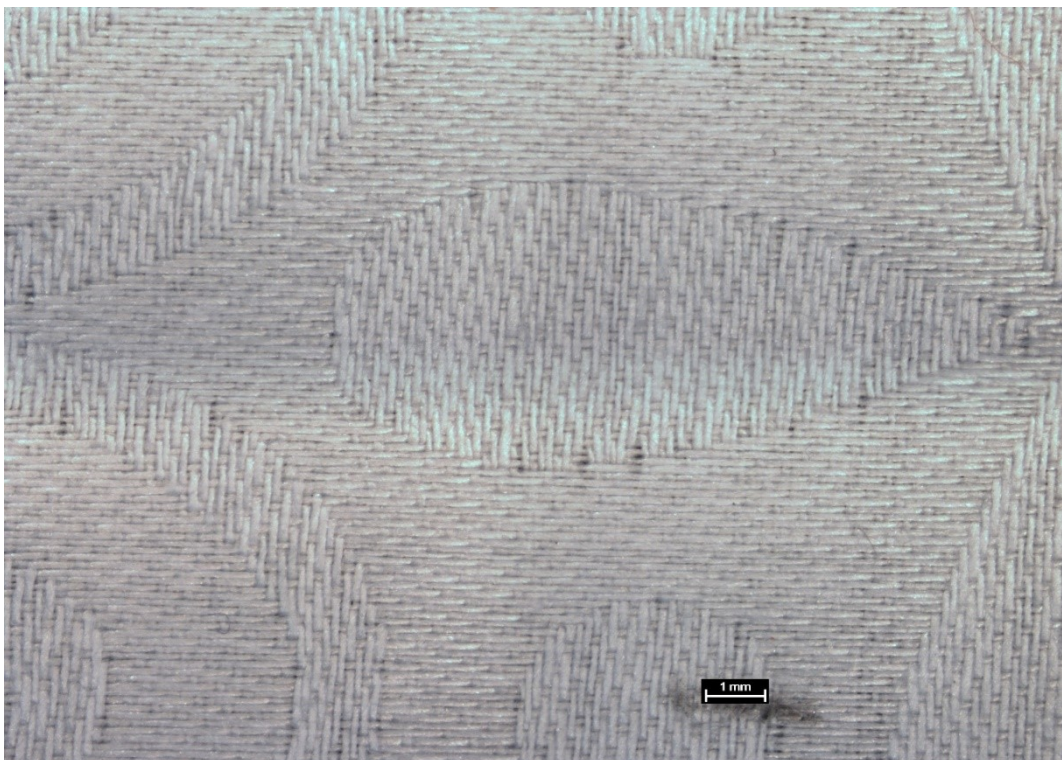
Obrázek 76. Textilní vzorek Apollo 2



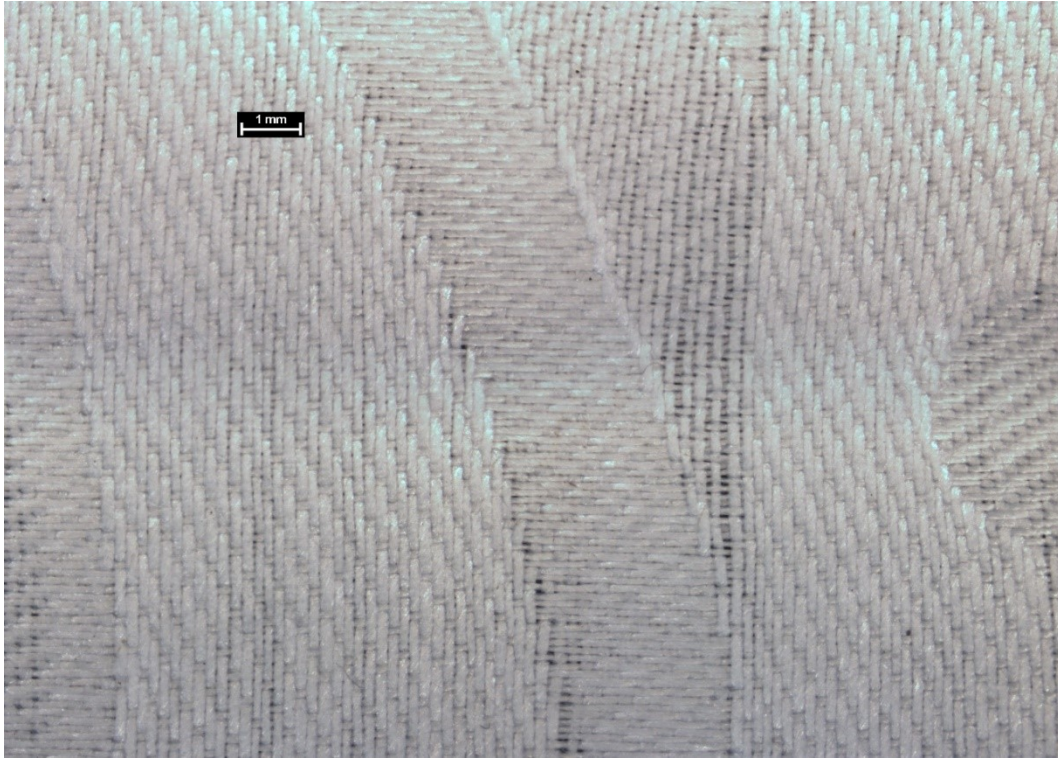
Obrázek 77. Textilní vzorek Apollo 3



Obrázek 78. Textilní vzorek Topas 1



Obrázek 79. Textilní vzorek Topas 2



Obrázek 80. Textilní vzorek Topas 3



Příloha 2: Naměřené kolorimetrické hodnoty L^* , a^* , b^* ,
v testovaných měřících geometriích pomocí spektrofotometrů

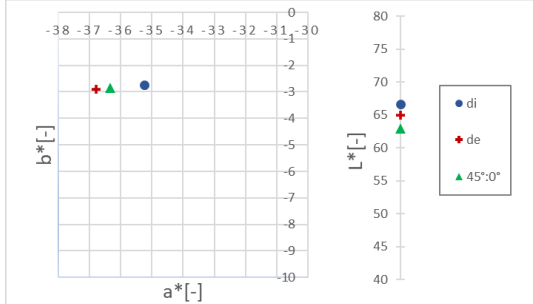
Tabulka 22. Barevnost vzorků, měřené polohy u barevných vzorků a jejich naměřené hodnoty L^* , a^* , b^* , jednotlivými spektrofotometry

pořadí	vzorek	barevnost	měřená poloha na barevném vzorku	di			de			45°:0°		
				L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
1	Tibet 1	barevný	zelená	66,7	-35,2	-2,7	65,0	-36,8	-2,9	63,0	-36,4	-2,8
2	Tibet 1	barevný	bílá	74,4	-17,9	-1,1	72,9	-18,8	-1,3	72,3	-17,1	-0,9
3	Tibet 2	barevný	střed	64,8	-0,5	0,6	63,8	-0,6	0,3	62,4	-0,7	0,4
4	Tibet 2	barevný	1. pruh	74,7	0,6	8,4	74,4	0,6	8,2	72,6	0,7	8,7
5	Tibet 2	barevný	2. pruh	68,6	-0,3	3,2	68,1	-0,3	3,1	66,0	-0,3	3,1
6	Tibet 2	barevný	3. pruh	74,8	0,6	8,2	74,4	0,6	8,2	72,7	0,7	8,7
7	Tibet 2	barevný	4. pruh	70,8	0,3	6,3	70,1	0,2	6,2	68,8	0,4	6,6
8	Tibet 3	barevný	zelená	68,3	-32,4	-2,5	68,0	-32,7	-2,7	66,7	-31,2	-2,5
9	Apollo 1	barevný	podklad	83,3	-2,2	-10,0	83,1	-2,2	-10,3	79,5	-2,3	-8,7
10	Apollo 2	barevný	roh	54,4	12,4	20,9	54,1	12,4	21,0	52,0	12,2	21,4
11	Apollo 3	barevný	podklad	72,2	-4,8	-19,4	70,4	-4,9	-20,3	68,0	-5,3	-18,4
12	Apollo 3	barevný	vzor X	70,7	-4,8	-21,2	67,9	-5,0	-22,7	67,2	-5,4	-20,4
13	Topas 1	barevný	D vnitřní	94,0	3,1	-8,1	93,6	3,3	-8,8	88,2	2,1	-7,5
14	Topas 1	barevný	D vnější	94,1	3,2	-8,2	93,5	3,4	-9,0	87,1	1,8	-6,7
15	Topas 2	barevný	podklad	93,8	3,3	-8,4	93,2	3,5	-9,2	87,0	1,9	-6,9
16	Topas 2	barevný	vzor	93,8	3,4	-8,7	93,4	3,6	-9,5	87,0	2,0	-7,3
17	Topas 3	barevný	půlměsíc 1	93,9	3,9	-10,5	93,7	4,1	-11,5	87,6	2,2	-8,2
18	Topas 3	barevný	půlměsíc 2	93,8	3,8	-10,2	93,6	4,0	-11,2	86,9	2,3	-8,6
19	Strukturální D393 vzor	barevný	bílá	89,3	1,8	9,4	89,1	1,8	9,0	87,8	1,2	9,5
20	Strukturální D393 vzor	barevný	hnědá	50,1	4,5	8,4	49,9	4,5	8,2	49,1	4,5	8,7
21	Strukturální 3500 pruh	jednobarevný		83,3	-0,3	-1,9	81,2	-0,3	-2,2	72,1	-0,4	-1,8
22	Strukturální 4001	jednobarevný		91,8	0,3	5,3	89,5	0,5	5,6	86,6	-0,1	5,0
23	Strukturální 1320	jednobarevný		73,6	12,1	48,2	73,4	12,1	48,1	69,5	11,4	45,9
24	Strukturální 9355	jednobarevný		73,6	0,0	31,1	73,0	0,0	30,6	73,1	0,3	31,3
25	Strukturální E001	barevný	bílá	94,9	0,0	0,6	95,1	0,1	0,1	93,7	-0,4	0,6
26	Strukturální E001	barevný	černá	32,1	0,3	-0,7	21,5	0,8	-0,3	16,2	1,5	1,5
27	Strukturální D393	jednobarevný		45,3	4,9	9,8	45,3	5,0	9,8	43,6	5,1	10,0
28	Strukturální 9350	jednobarevný	hladká struktura	66,7	18,1	25,8	65,4	17,9	25,3	63,8	17,7	25,3
29	Strukturální 9350	jednobarevný	hrubá struktura	65,3	18,3	25,5	64,2	18,1	25,2	63,7	18,1	25,4
30	Jemný 2000	jednobarevný		87,1	-0,7	-1,1	80,6	-0,8	-1,6	66,3	-1,0	-1,8
31	Jemný E001	jednobarevný		96,2	-0,3	-0,3	91,8	0,1	-0,1	88,2	0,6	1,6
32	Jemný 1700	jednobarevný		79,9	3,1	33,4	75,9	2,9	31,6	63,7	4,9	26,6
33	Jemný 4001	jednobarevný		95,3	-0,4	2,0	91,7	-0,2	2,1	86,3	0,6	3,5
34	Jemný 1502	jednobarevný		69,3	18,1	31,1	64,7	18,3	29,8	53,4	21,5	28,7
35	Jemný 1320	jednobarevný		80,3	9,7	47,3	78,1	9,7	45,9	72,7	13,2	43,6
36	Jemný 3500	jednobarevný		89,0	-0,7	-0,7	75,3	-0,8	-1,9	52,1	-1,3	-3,0
37	Jemný 2001	jednobarevný		95,7	-0,5	2,0	93,0	-0,6	2,1	86,4	-0,3	3,3
38	Jemný 5000	jednobarevný		89,8	-0,7	-0,7	75,5	-0,8	-2,0	52,8	-1,4	-2,9
39	Jemný 1542	jednobarevný		52,6	37,4	13,8	49,5	36,1	14,0	42,6	33,9	17,8

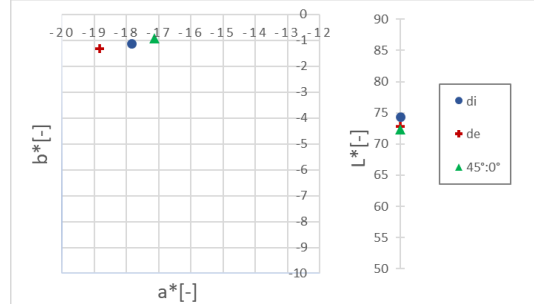


Příloha 3: Grafické znázornění kolorimetrických hodnot
souřadnic L^* , a^* , b^* naměřených spektrofotometry

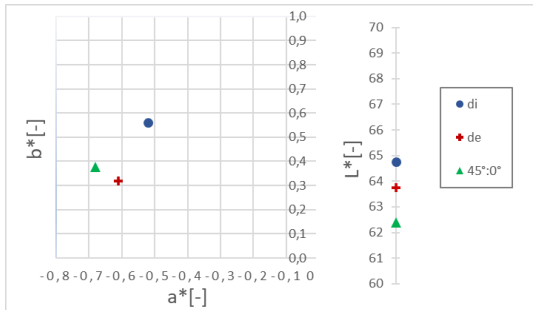
Textilní vzorky



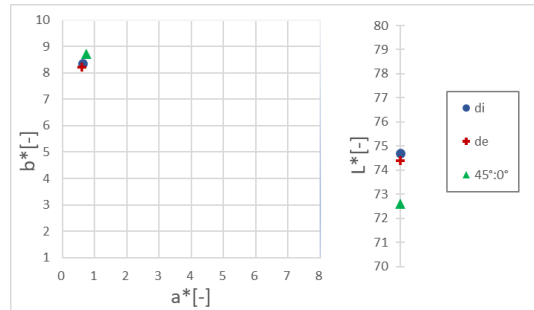
Tibet 1 (zelená)



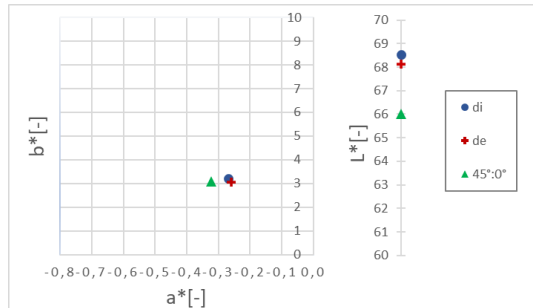
Tibet 1 (bílá)



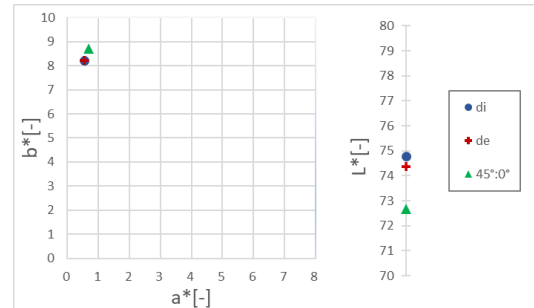
Tibet 2 (střed)



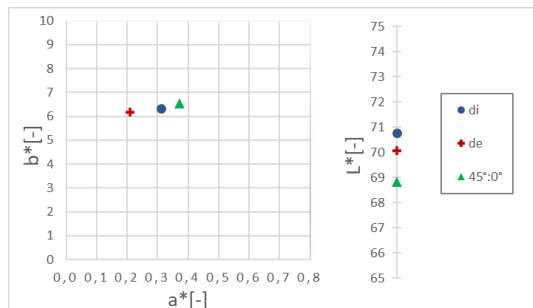
Tibet 2 (1. pruh)



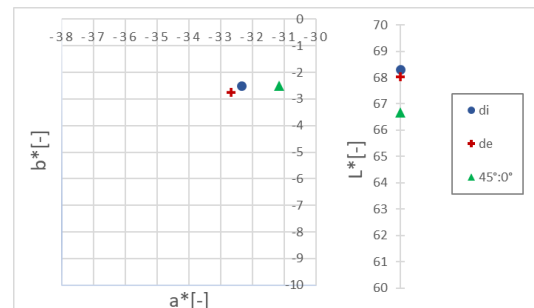
Tibet 2 (2. pruh)



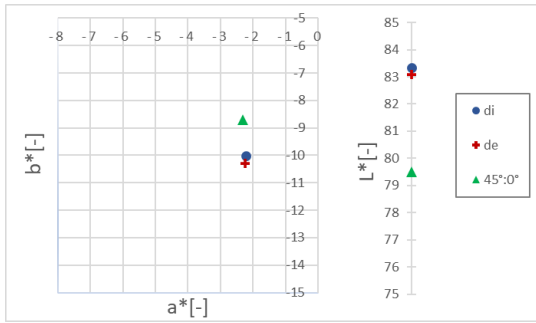
Tibet 2 (3. pruh)



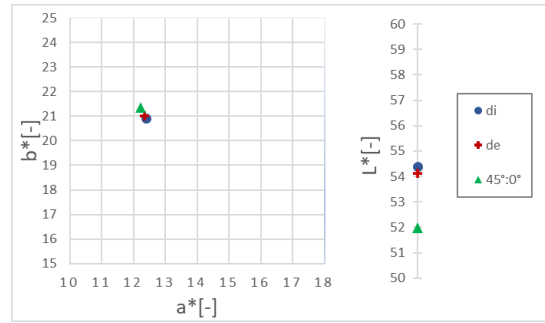
Tibet 2 (4. pruh)



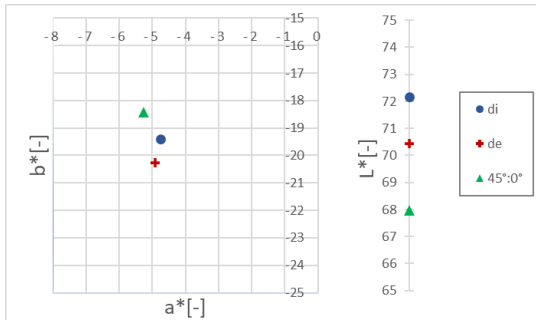
Tibet 3 (zelená)



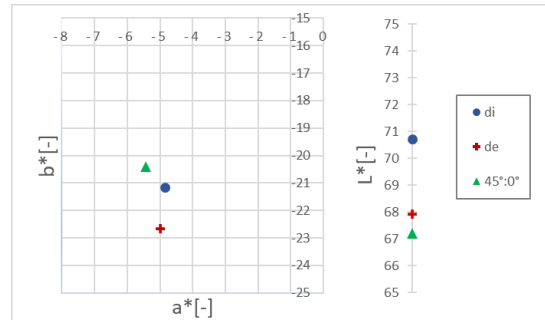
Apollo 1 (podklad)



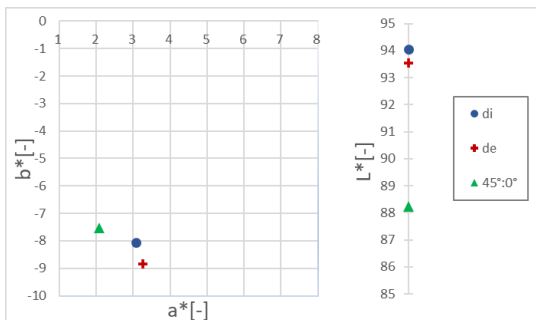
Apollo 2 (rohy)



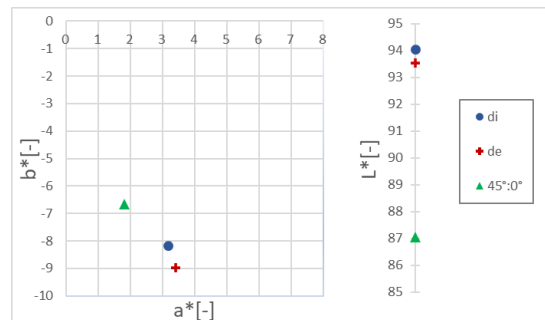
Apollo 3 (podklad)



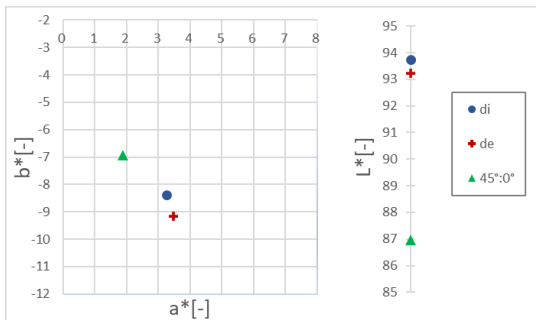
Apollo 3 (vzor X)



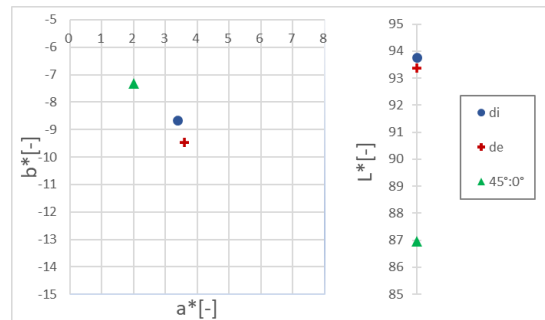
Topas 1 (D vnitřní)



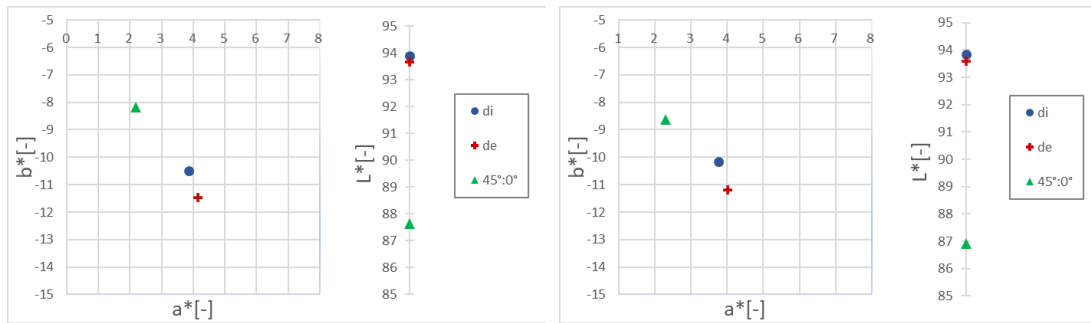
Topas 1 (D vnější)



Topas 2 (podklad)



Topas 2 (vzor)

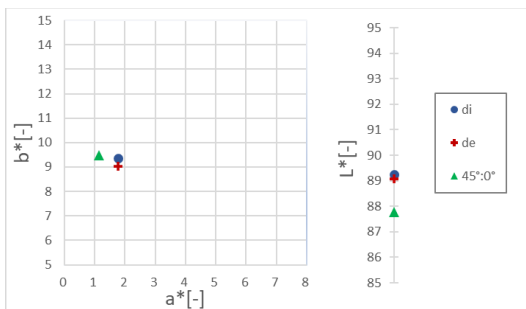


Topas 3 (půlměsíc 1)

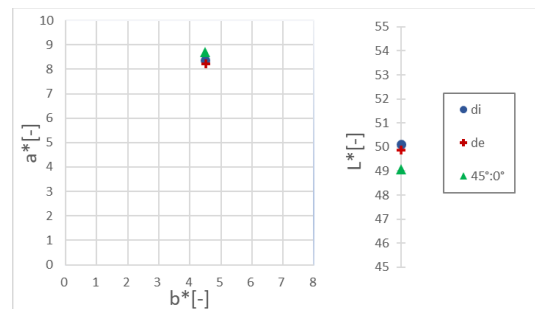
Topas 3 (půlměsíc 2)

Obrázek 81. Grafické znázornění naměřených kolorimetrických hodnot jednotlivými měřícími geometriemi textilních vzorků

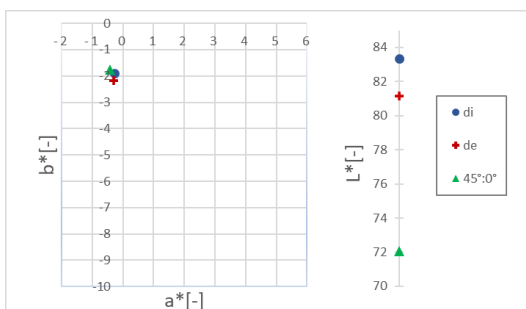
Strukturní vzorky



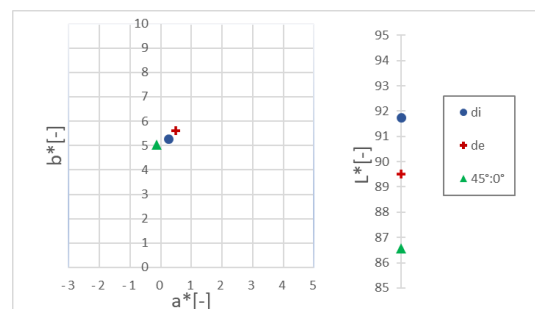
Strukturní D393 vzor (bílá)



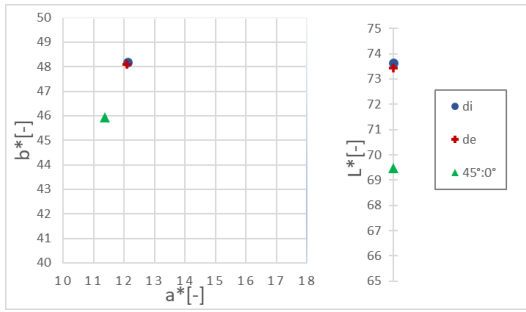
Strukturní D393 vzor (hnědá)



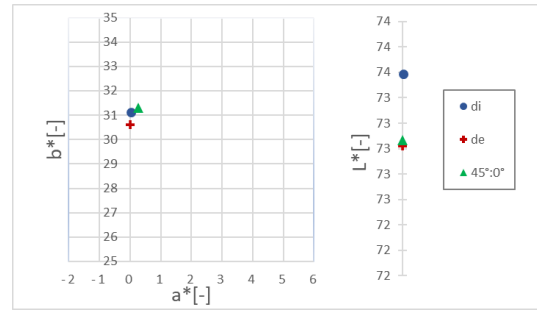
Strukturní 3500 pruh



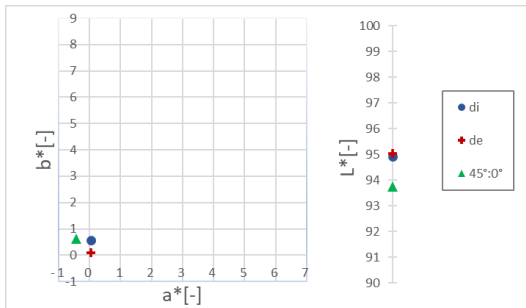
Strukturní 4001



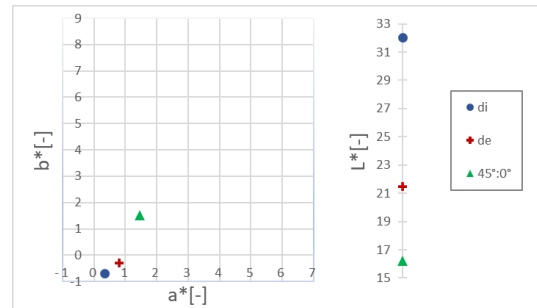
Strukturní 1320



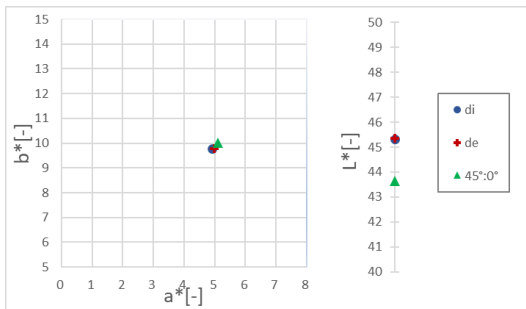
Strukturní 9355



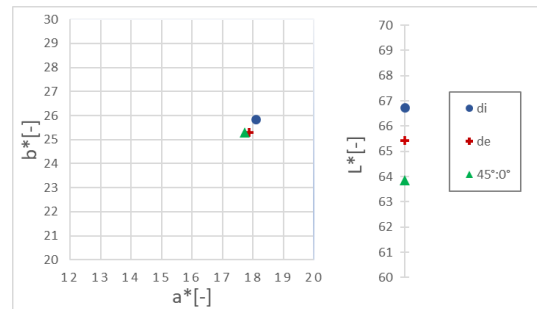
Strukturní E001 (bílá)



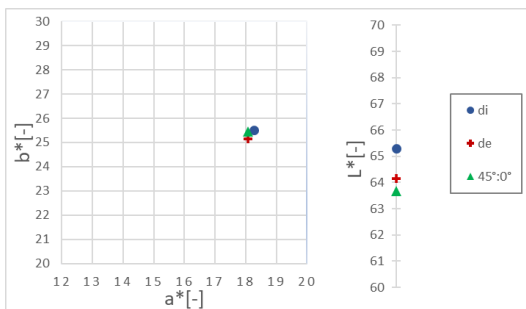
Strukturní E001 (černá)



Strukturní D393



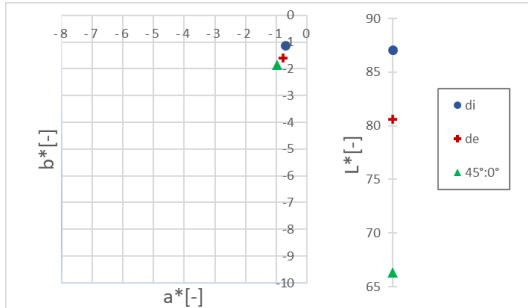
Strukturní 9350 (jemná struktura)



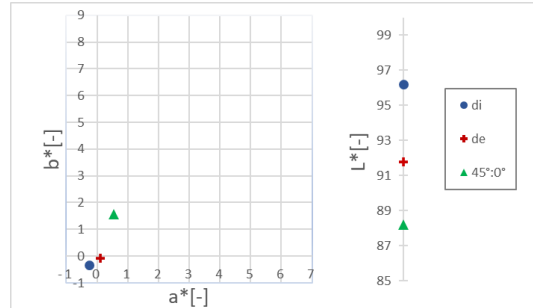
Strukturní 9350 (hrubá struktura)

Obrázek 82. Grafické znázornění naměřených kolorimetrických hodnot jednotlivými měřícími geometriemi strukturních vzorků

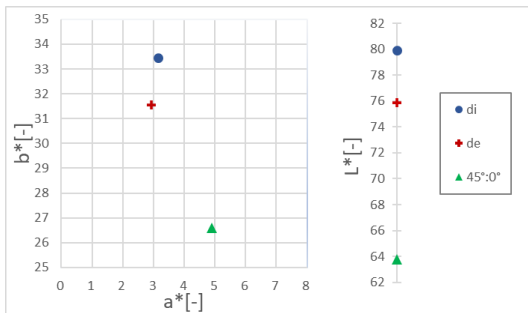
Vzorky s jemným homogenním povrchem



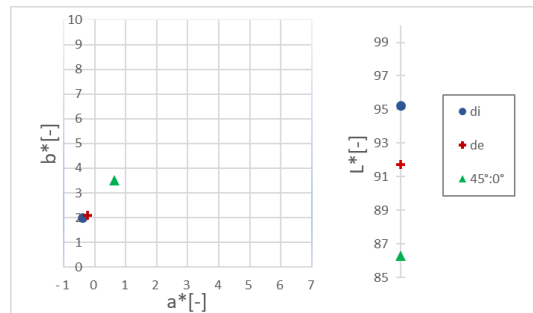
Jemný homogenní 2000



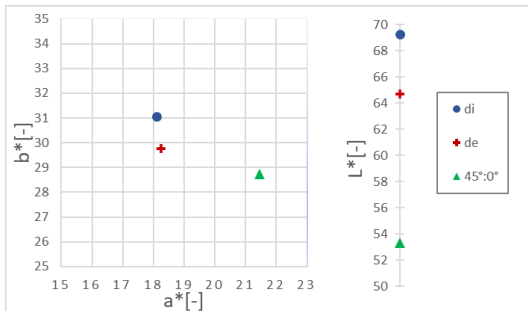
Jemný homogenní E001



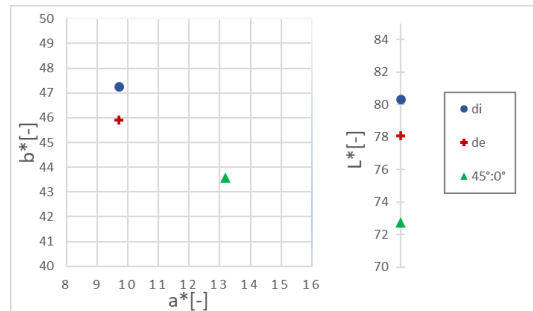
Jemný homogenní 1700



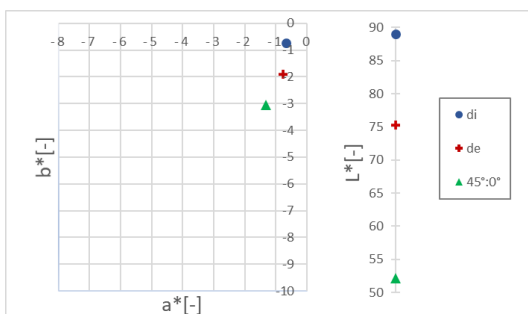
Jemný homogenní 4001



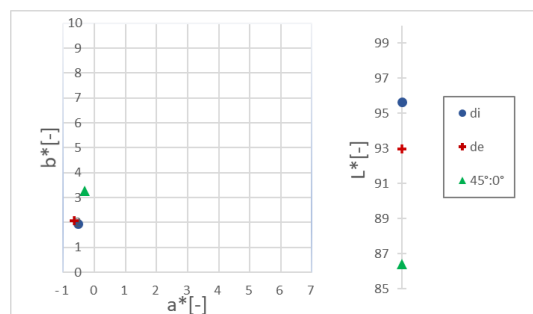
Jemný homogenní 1502



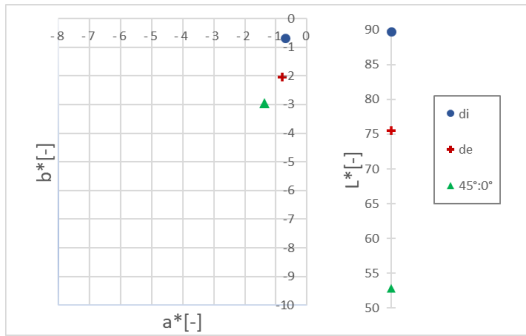
Jemný homogenní 1320



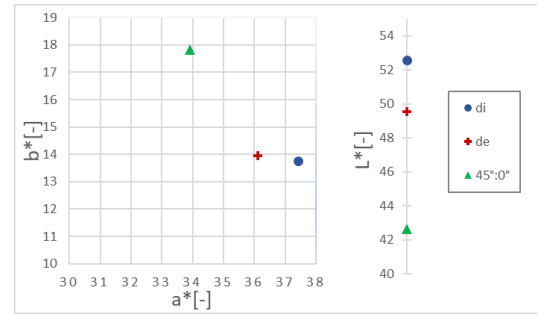
Jemný homogenní 3500



Jemný homogenní 2001



Jemný homogenní 5000



Jemný homogenní 1542

Obrázek 83. Grafické znázornění naměřených kolorimetrických hodnot jednotlivými měřícími geometriemi vzorků s jemným homogenním povrchem



Příloha 4: Naměřené kolorimetrické hodnoty L^* , a^* , b^* , pomocí obrazové analýzy při natáčení vzorků v úhlu Φ



Tabulka 23. Naměřené kolorimetrické hodnoty L^* , a^* , b^* , pomocí obrazové analýzy při natáčení vzorků v úhlu Φ u textilních vzorků

D50				D65				D50				D65											
Tibet 1				Tibet 1				Tibet 1				Tibet 1											
		L^*	a^*	b^*		L^*	a^*	b^*		L^*	a^*	b^*		L^*	a^*	b^*							
Celá plocha	0°	průměr	74,7	-26,2	-6,2	průměr	64,3	-25,3	-5,4	průměr	76,4	-19,0	-4,1	průměr	66,0	-19,2	-3,5						
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,2	0,1	0,0	sm. odch.	0,1	0,2	0,0						
	90°	průměr	71,4	-25,7	-6,1	průměr	63,7	-24,6	-5,3	průměr	80,6	-15,8	-3,2	průměr	68,4	-17,7	-3,3						
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,1	0,1	0,1	sm. odch.	0,0	0,0	0,0						
	180°	průměr	73,3	-26,1	-6,0	průměr	64,4	-25,2	-5,4	průměr	72,9	-19,5	-4,2	průměr	67,3	-17,9	-3,3						
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,1	0,1	0,1	sm. odch.	0,1	0,1	0,0							
270°	průměr	70,6	-25,4	-5,9	průměr	63,4	-24,5	-5,3	průměr	79,7	-15,5	-2,9	průměr	68,1	-17,5	-3,3							
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0							
0°R	průměr	73,3	-26,1	-6,0	průměr	64,2	-25,3	-5,4	průměr	75,2	-18,9	-3,8	průměr	66,0	-19,0	-3,5							
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,3	0,0	0,1	sm. odch.	0,0	0,0	0,0							
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ											
1,5				0,3				0,1				1,0				0,7				0,1			
D50				D65				D50				D65											
Tibet 1				Tibet 1				Tibet 1				Tibet 1											
		L^*	a^*	b^*		L^*	a^*	b^*		L^*	a^*	b^*		L^*	a^*	b^*							
1 roh podklad	0°	průměr	74,0	-32,0	-7,9	průměr	64,2	-30,5	-6,7	průměr	74,1	-19,7	-4,6	průměr	65,8	-18,6	-3,6						
		sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,1	0,1	0,0	sm. odch.	0,0	0,1	0,0						
	90°	průměr	67,5	-32,8	-8,6	průměr	62,2	-30,6	-6,7	průměr	79,4	-16,1	-2,8	průměr	67,2	-17,8	-3,4						
		sm. odch.	0,1	0,1	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,1	0,0	0,1	sm. odch.	0,0	0,0	0,0						
	180°	průměr	72,4	-31,5	-7,7	průměr	63,3	-31,0	-6,6	průměr	72,6	-20,1	-4,2	průměr	65,7	-18,6	-3,5						
	sm. odch.	0,1	0,1	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,1	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0							
270°	průměr	66,7	-33,0	-8,4	průměr	61,0	-30,0	-6,8	průměr	76,5	-16,5	-3,1	průměr	67,9	-17,1	-2,9							
	sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,1	0,1	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0							
0°R	průměr	72,8	-31,8	-7,7	průměr	64,0	-30,3	-6,7	průměr	72,1	-20,4	-4,1	průměr	65,6	-18,6	-3,6							
	sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,1	0,1	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0							
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ											
3,0				0,6				0,4				0,9				0,6				0,3			
D50				D65				D50				D65											
Tibet 1				Tibet 1				Tibet 1				Tibet 1											
		L^*	a^*	b^*		L^*	a^*	b^*		L^*	a^*	b^*		L^*	a^*	b^*							
2 roh podklad	0°	průměr	77,1	-31,0	-8,0	průměr	64,1	-30,9	-7,1	průměr	74,9	-19,3	-3,9	průměr	66,4	-18,3	-3,1						
		sm. odch.	0,0	0,1	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,1	0,2	0,0	sm. odch.	0,0	0,1	0,0						
	90°	průměr	67,0	-33,1	-9,1	průměr	62,1	-30,2	-7,1	průměr	78,3	-16,4	-2,7	průměr	66,8	-17,4	-3,1						
		sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,2	0,1	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0						
	180°	průměr	80,3	-25,9	-7,0	průměr	65,0	-31,1	-7,0	průměr	71,8	-19,5	-3,9	průměr	66,4	-18,9	-3,0						
	sm. odch.	0,2	0,2	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0							
270°	průměr	68,9	-32,1	-8,6	průměr	60,7	-30,4	-7,2	průměr	77,8	-15,9	-2,4	průměr	67,3	-17,4	-2,8							
	sm. odch.	0,2	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,2	0,1	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0							
0°R	průměr	75,7	-31,0	-7,8	průměr	64,1	-31,1	-6,9	průměr	73,8	-18,7	-3,5	průměr	66,5	-18,0	-3,2							
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,2	0,2	0,0	sm. odch.	0,0	0,1	0,0							
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ											
5,0				2,5				0,7				0,3				0,6				0,2			
D50				D65				D50				D65											
Tibet 1				Tibet 1				Tibet 2				Tibet 2											
		L^*	a^*	b^*		L^*	a^*	b^*		L^*	a^*	b^*		L^*	a^*	b^*							
3 roh podklad	0°	průměr	77,0	-30,1	-7,5	průměr	63,3	-30,8	-6,9	průměr	70,5	-1,5	7,4	průměr	61,6	-2,2	5,5						
		sm. odch.	0,1	0,1	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0						
	90°	průměr	67,0	-33,2	-8,7	průměr	60,4	-29,8	-6,9	průměr	70,1	-1,6	7,7	průměr	61,8	-2,2	5,6						
		sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0						
	180°	průměr	74,4	-31,1	-7,8	průměr	64,0	-30,2	-6,9	průměr	70,2	-1,4	7,4	průměr	62,1	-2,4	5,5						
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0							
270°	průměr	65,6	-32,8	-8,6	průměr	60,9	-30,4	-7,1	průměr	69,8	-1,6	7,7	průměr	62,2	-2,1	5,6							
	sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0							
0°R	průměr	75,6	-30,2	-7,4	průměr	63,2	-30,8	-6,9	průměr	69,8	-1,5	7,4	průměr	62,2	-2,2	5,6							
	sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0							
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ											
4,7				1,3				0,5				0,2				0,1				0,1			
D50				D65				D50				D65											
Tibet 1				Tibet 1				Tibet 2				Tibet 2											
		L^*	a^*	b^*		L^*	a^*	b^*		L^*	a^*	b^*		L^*	a^*	b^*							
4 roh podklad	0°	průměr	75,5	-30,0	-7,5	průměr	63,3	-30,4	-6,6	průměr	58,4	-2,2	3,2	průměr	56,6	-2,8	1,4						
		sm. odch.	0,1	0,1	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,1	0,0	0,0						
	90°	průměr	66,2	-32,5	-8,2	průměr	60,4	-30,2	-6,7	průměr	67,4	-1,9	2,9	průměr	54,4	-2,9	1,2						
		sm. odch.	0,1	0,1	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0						
	180°	průměr	73,9	-31,6	-7,5	průměr	61,9	-29,6	-6,9	průměr	58,2	-2,1	3,3	průměr	56,9	-2,9	1,3						
	sm. odch.	0,2	0,0	0,0	sm. odch.	0,1	0,1	0,0	sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0							
270°	průměr	64,1	-32,8	-8,1	průměr	60,8	-29,6	-6,8	průměr	66,7	-1,9	2,8	průměr	54,8	-2,8	1,4							
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0							
0°R	průměr	74,6	-29,4	-7,2	průměr	63,2	-30,4	-6,7	průměr	57,8	-2,2	3,3	průměr	57,3	-2,8	1,4							
	sm. odch.	0,2	0,2	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0							
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ											
4,7				1,3				0,4				1,2				0,0				0,1			
D50				D65				D50				D65											
Tibet 1				Tibet 1				Tibet 2				Tibet 2											
		L^*	a^*	b^*		L^*	a^*	b^*		L^*	a^*	b^*		L^*	a^*	b^*							
1 roh vzor	0°	průměr	74,9	-19,4	-4,0	průměr	66,5	-18,5	-3,1	průměr	77,4	-1,1	9,6	průměr	65,1	-1,6	8,3						
		sm. odch.	0,1	0,1	0,0	sm. odch.	0,3	0,2	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0						
	90°	průměr	79,4	-16,1	-3,2	průměr	68,4	-17,0	-2,5	průměr	70,6	-1,3	10,7	průměr	66,4	-1,5	8,1						
		sm. odch.	0,2	0,1	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0						
	180°	průměr	73,8	-19,2	-3,7	průměr	67,0	-18,1	-3,2	průměr	77,3	-1,1	9,7	průměr	65,5	-1,7	8,1						
	sm. odch.	0,1	0,1	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0							
270°	průměr	76,9	-16,7	-3,0	průměr	67,4	-18,2	-3,1	průměr	71,1	-1,3	10,4	průměr	67,0	-1,4	8,0							
	sm. odch.	0,2	0,1	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0							
0°R	průměr	73,4	-19,2	-4,0	průměr	66,6	-18,6	-3,1	průměr	77,0	-1,1	9,7	průměr	65,7	-1,7	8,5							
	sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0							
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ											
2,2				1,4				0,4				0,7				0,1				0,2			

D50				D65				D50				D65				
Tibet 2	L*	a*	b*	Tibet 2	L*	a*	b*	Tibet 2	L*	a*	b*	Tibet 2	L*	a*	b*	
1 pruh (dolní/pravá)	0°	průměr 77,2 sm. odch. 0,0	-1,0 0,0	9,7 0,0	0°	průměr 65,1 sm. odch. 0,0	-1,2 0,0	7,7 0,0	0°	průměr 73,3 sm. odch. 0,1	-1,1 0,0	7,0 0,0	0°	průměr 60,9 sm. odch. 0,0	-2,3 0,0	6,6 0,0
	90°	průměr 71,4 sm. odch. 0,0	-1,0 0,0	10,3 0,0	90°	průměr 65,8 sm. odch. 0,0	-1,5 0,0	7,8 0,0	90°	průměr 70,4 sm. odch. 0,0	-1,1 0,0	8,4 0,1	90°	průměr 62,7 sm. odch. 0,0	-2,4 0,0	6,7 0,0
	180°	průměr 76,3 sm. odch. 0,0	-1,0 0,0	9,7 0,0	180°	průměr 65,3 sm. odch. 0,0	-1,5 0,0	7,6 0,0	180°	průměr 72,6 sm. odch. 0,1	-1,3 0,0	7,7 0,0	180°	průměr 61,7 sm. odch. 0,0	-2,5 0,0	6,8 0,0
	270°	průměr 70,9 sm. odch. 0,0	-1,1 0,0	10,4 0,0	270°	průměr 66,0 sm. odch. 0,0	-1,3 0,0	7,7 0,0	270°	průměr 70,1 sm. odch. 0,0	-1,5 0,1	8,1 0,1	270°	průměr 62,3 sm. odch. 0,0	-2,2 0,0	7,1 0,0
	0°R	průměr 76,9 sm. odch. 0,1	-0,9 0,0	9,7 0,0	0°R	průměr 65,7 sm. odch. 0,0	-1,4 0,0	7,7 0,0	0°R	průměr 72,7 sm. odch. 0,1	-1,2 0,0	7,1 0,0	0°R	průměr 61,6 sm. odch. 0,0	-2,4 0,0	6,9 0,0
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				
2,8 0,1 0,3				0,3 0,1 0,1				1,3 0,2 0,5				0,6 0,1 0,2				
D50				D65				D50				D65				
2 pruh levá	0°	průměr 64,8 sm. odch. 0,2	-2,0 0,1	5,7 0,0	0°	průměr 60,1 sm. odch. 0,0	-2,7 0,0	3,7 0,0	0°	průměr 71,8 sm. odch. 0,1	-1,4 0,0	7,8 0,0	0°	průměr 60,6 sm. odch. 0,1	-2,3 0,0	6,6 0,0
	90°	průměr 69,3 sm. odch. 0,0	-2,1 0,0	5,3 0,0	90°	průměr 59,3 sm. odch. 0,0	-2,6 0,0	4,4 0,0	90°	průměr 69,8 sm. odch. 0,0	-1,6 0,0	8,0 0,0	90°	průměr 61,6 sm. odch. 0,0	-2,4 0,0	6,8 0,0
	180°	průměr 64,4 sm. odch. 0,1	-1,8 0,0	5,5 0,0	180°	průměr 60,3 sm. odch. 0,0	-2,8 0,0	3,7 0,0	180°	průměr 72,5 sm. odch. 0,1	-1,1 0,0	7,9 0,0	180°	průměr 61,2 sm. odch. 0,0	-2,6 0,0	6,4 0,0
	270°	průměr 69,5 sm. odch. 0,0	-1,9 0,0	5,0 0,1	270°	průměr 59,6 sm. odch. 0,0	-2,4 0,0	4,3 0,0	270°	průměr 68,5 sm. odch. 0,0	-2,0 0,0	9,1 0,0	270°	průměr 62,2 sm. odch. 0,0	-1,9 0,0	7,0 0,0
	0°R	průměr 64,1 sm. odch. 0,0	-1,9 0,0	5,7 0,0	0°R	průměr 60,7 sm. odch. 0,0	-2,5 0,0	3,9 0,0	0°R	průměr 71,5 sm. odch. 0,1	-1,5 0,0	8,0 0,1	0°R	průměr 61,4 sm. odch. 0,1	-2,3 0,0	6,6 0,0
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				
2,4 0,1 0,3				0,5 0,2 0,3				1,5 0,3 0,5				0,5 0,2 0,2				
D50				D65				D50				D65				
2 pruh pravá	0°	průměr 65,4 sm. odch. 0,1	-1,7 0,0	5,3 0,0	0°	průměr 59,7 sm. odch. 0,0	-2,3 0,0	3,4 0,0	0°	průměr 70,9 sm. odch. 0,1	-1,7 0,0	8,4 0,0	0°	průměr 60,2 sm. odch. 0,0	-2,3 0,0	7,1 0,0
	90°	průměr 69,2 sm. odch. 0,0	-1,8 0,0	4,9 0,1	90°	průměr 59,6 sm. odch. 0,0	-2,7 0,0	4,3 0,0	90°	průměr 67,9 sm. odch. 0,0	-2,0 0,0	9,2 0,0	90°	průměr 61,0 sm. odch. 0,0	-2,4 0,0	7,2 0,0
	180°	průměr 65,6 sm. odch. 0,0	-1,6 0,0	5,3 0,0	180°	průměr 60,3 sm. odch. 0,0	-2,3 0,0	3,3 0,0	180°	průměr 70,9 sm. odch. 0,0	-1,5 0,0	7,9 0,0	180°	průměr 60,5 sm. odch. 0,0	-2,6 0,0	6,7 0,0
	270°	průměr 68,5 sm. odch. 0,0	-1,9 0,0	5,3 0,0	270°	průměr 60,0 sm. odch. 0,0	-2,4 0,0	4,3 0,0	270°	průměr 67,5 sm. odch. 0,1	-2,1 0,0	9,7 0,0	270°	průměr 61,8 sm. odch. 0,0	-2,3 0,0	7,0 0,0
	0°R	průměr 64,7 sm. odch. 0,0	-1,6 0,0	5,3 0,0	0°R	průměr 60,2 sm. odch. 0,0	-2,4 0,0	3,4 0,0	0°R	průměr 70,4 sm. odch. 0,1	-1,7 0,0	8,5 0,0	0°R	průměr 60,9 sm. odch. 0,0	-2,4 0,0	7,1 0,0
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				
1,8 0,1 0,2				0,3 0,1 0,5				1,5 0,2 0,6				0,6 0,1 0,2				
D50				D65				D50				D65				
3 pruh levá	0°	průměr 75,7 sm. odch. 0,1	-1,1 0,0	9,8 0,0	0°	průměr 64,4 sm. odch. 0,0	-2,0 0,0	7,7 0,0	0°	průměr 72,1 sm. odch. 0,0	-20,8 0,0	-4,4 -4,4	0°	průměr 65,9 sm. odch. 0,0	-22,1 0,0	-4,5 0,0
	90°	průměr 73,5 sm. odch. 0,2	-1,2 0,0	10,1 0,0	90°	průměr 66,7 sm. odch. 0,0	-1,5 0,0	8,2 0,0	90°	průměr 73,8 sm. odch. 0,0	-21,8 0,0	-4,8 -4,8	90°	průměr 65,3 sm. odch. 0,0	-21,4 0,0	-4,4 0,0
	180°	průměr 74,9 sm. odch. 0,0	-1,1 0,0	9,7 0,0	180°	průměr 65,2 sm. odch. 0,0	-2,4 0,0	7,9 0,0	180°	průměr 72,4 sm. odch. 0,0	-20,8 0,0	-4,4 -4,4	180°	průměr 66,8 sm. odch. 0,0	-22,1 0,0	-4,6 0,0
	270°	průměr 72,1 sm. odch. 0,0	-1,3 0,0	10,3 0,0	270°	průměr 66,9 sm. odch. 0,0	-1,5 0,0	8,4 0,0	270°	průměr 73,8 sm. odch. 0,0	-21,9 0,0	-4,8 -4,8	270°	průměr 65,4 sm. odch. 0,0	-21,3 0,0	-4,4 0,0
	0°R	průměr 75,0 sm. odch. 0,1	-1,1 0,0	9,8 0,0	0°R	průměr 65,0 sm. odch. 0,0	-1,9 0,0	7,8 0,0	0°R	průměr 71,7 sm. odch. 0,0	-20,8 0,0	-4,4 -4,4	0°R	průměr 66,1 sm. odch. 0,0	-22,1 0,0	-4,5 0,0
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				
1,3 0,1 0,2				0,9 0,3 0,3				0,9 0,5 0,2				0,5 0,4 0,1				
D50				D65				D50				D65				
3 pruh pravá	0°	průměr 76,8 sm. odch. 0,0	-1,0 0,0	9,6 0,0	0°	průměr 63,7 sm. odch. 0,0	-1,6 0,0	7,4 0,0	0°	průměr 78,3 sm. odch. 0,1	-12,4 0,0	-1,2 -2,6	0°	průměr 66,4 sm. odch. 0,1	-15,9 0,0	-2,7 -2,0
	90°	průměr 70,8 sm. odch. 0,0	-1,3 0,0	10,6 0,0	90°	průměr 67,1 sm. odch. 0,0	-1,3 0,0	7,6 0,0	90°	průměr 78,0 sm. odch. 0,0	-13,7 0,1	-2,6 0,0	90°	průměr 68,2 sm. odch. 0,0	-14,5 0,0	-2,0 0,0
	180°	průměr 77,1 sm. odch. 0,0	-0,9 0,0	9,6 0,0	180°	průměr 64,1 sm. odch. 0,0	-2,0 0,0	7,4 0,0	180°	průměr 78,3 sm. odch. 0,2	-13,5 0,1	-2,1 0,1	180°	průměr 68,3 sm. odch. 0,0	-15,6 0,1	-2,7 0,0
	270°	průměr 71,3 sm. odch. 0,1	-1,2 0,0	10,4 0,6	270°	průměr 67,8 sm. odch. 0,0	-1,2 0,0	7,8 0,0	270°	průměr 72,0 sm. odch. 0,1	-17,5 0,1	-2,9 0,0	270°	průměr 70,0 sm. odch. 0,1	-14,3 0,1	-2,8 0,0
	0°R	průměr 76,3 sm. odch. 0,0	-0,9 0,0	9,6 0,0	0°R	průměr 64,4 sm. odch. 0,0	-2,0 0,0	7,5 0,0	0°R	průměr 77,8 sm. odch. 0,1	-12,4 0,1	-1,3 0,1	0°R	průměr 66,7 sm. odch. 0,0	-16,0 0,0	-2,7 0,0
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				
2,8 0,2 0,4				1,7 0,3 0,1				2,5 1,9 0,7				1,3 0,7 0,3				
D50				D65				D50				D65				
4 pruh (levý horní roh)	0°	průměr 71,7 sm. odch. 0,1	-1,6 0,0	8,4 0,0	0°	průměr 61,4 sm. odch. 0,0	-2,6 0,0	6,7 0,0	0°	průměr 69,2 sm. odch. 0,1	-29,9 0,0	-7,4 -6,7	0°	průměr 66,4 sm. odch. 0,0	-28,3 0,1	-6,3 0,1
	90°	průměr 68,8 sm. odch. 0,1	-2,0 0,0	9,2 0,1	90°	průměr 62,0 sm. odch. 0,1	-2,4 0,0	7,2 0,1	90°	průměr 73,7 sm. odch. 0,0	-29,0 0,2	-6,7 -7,0	90°	průměr 62,3 sm. odch. 0,0	-28,7 0,0	-6,8 0,0
	180°	průměr 70,5 sm. odch. 0,1	-1,6 0,0	8,6 0,1	180°	průměr 61,0 sm. odch. 0,0	-2,5 0,0	7,1 0,0	180°	průměr 68,8 sm. odch. 0,2	-29,5 0,1	-7,0 -6,8	180°	průměr 66,6 sm. odch. 0,1	-28,8 0,1	-6,0 0,1
	270°	průměr 69,6 sm. odch. 0,0	-1,8 0,0	8,2 0,6	270°	průměr 62,0 sm. odch. 0,0	-2,4 0,0	7,2 0,0	270°	průměr 73,3 sm. odch. 0,1	-28,9 0,1	-6,8 -7,5	270°	průměr 61,6 sm. odch. 0,0	-28,3 0,0	-6,5 0,0
	0°R	průměr 70,8 sm. odch. 0,1	-1,5 0,0	8,6 0,0	0°R	průměr 62,0 sm. odch. 0,0	-2,5 0,0	6,8 0,0	0°R	průměr 69,1 sm. odch. 0,1	-29,7 0,0	-7,5 0,0	0°R	průměr 66,4 sm. odch. 0,0	-28,4 0,0	-6,5 0,0
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				
1,0 0,2 0,3				0,4 0,1 0,2				2,2 0,4 0,3				2,2 0,2 0,3				



D50				
Tibet 3	L*	a*	b*	
kyška světlé (střední okvěti velké listy)	0°	průměr 75,5	-16,5	-3,2
		sm. odch. 0,1	0,1	0,0
	90°	průměr 72,9	-19,6	-4,1
		sm. odch. 0,1	0,1	0,1
	180°	průměr 75,6	-16,9	-3,1
	sm. odch. 0,1	0,0	0,1	
270°	průměr 73,3	-20,0	-4,0	
	sm. odch. 0,0	0,1	0,0	
0°R	průměr 75,1	-16,7	-3,0	
	sm. odch. 0,1	0,0	0,0	
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ	1,1	1,5	0,5	

D65				
Tibet 3	L*	a*	b*	
kyška světlé (střední okvěti velké listy)	0°	průměr 66,2	-28,4	-6,4
		sm. odch. 0,0	0,1	0,0
	90°	průměr 67,2	-18,4	-3,5
		sm. odch. 0,0	0,0	0,0
	180°	průměr 67,0	-19,1	-4,2
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
270°	průměr 67,4	-18,3	-3,3	
	sm. odch. 0,0	0,1	0,0	
0°R	průměr 66,5	-19,6	-3,6	
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ	0,4	3,9	1,2	

D50				
Apollo 1	L*	a*	b*	
poklad	0°	průměr 75,8	-3,4	-7,6
		sm. odch. 0,0	0,0	0,0
	90°	průměr 85,2	-2,3	-4,3
		sm. odch. 0,0	0,0	0,0
	180°	průměr 75,3	-3,3	-7,8
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
270°	průměr 84,6	-2,2	-4,3	
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
0°R	průměr 75,4	-3,3	-7,6	
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ	4,6	0,5	1,6	

D65				
Apollo 1	L*	a*	b*	
poklad	0°	průměr 74,7	-5,2	-5,5
		sm. odch. 0,0	0,0	0,0
	90°	průměr 71,7	-5,7	-5,9
		sm. odch. 0,0	0,0	0,0
	180°	průměr 74,4	-5,1	-5,2
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
270°	průměr 71,9	-5,7	-5,9	
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
0°R	průměr 74,6	-5,1	-5,3	
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ	1,3	0,3	0,3	

D50				
Tibet 3	L*	a*	b*	
kyška tmavé (vedle zrnité)	0°	průměr 69,3	-26,5	-6,3
		sm. odch. 0,1	0,0	0,0
	90°	průměr 74,8	-25,2	-5,7
		sm. odch. 0,1	0,1	0,1
	180°	průměr 69,8	-26,2	-6,2
	sm. odch. 0,1	0,0	0,0	
270°	průměr 74,4	-25,9	-6,1	
	sm. odch. 0,0	0,1	0,1	
0°R	průměr 69,0	-26,4	-6,4	
	sm. odch. 0,1	0,1	0,0	
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ	2,6	0,5	0,2	

D65				
Tibet 3	L*	a*	b*	
kyška tmavé (vedle zrnité)	0°	průměr 65,9	-19,5	-3,9
		sm. odch. 0,1	0,0	0,1
	90°	průměr 62,8	-26,1	-5,4
		sm. odch. 0,0	0,0	0,0
	180°	průměr 65,5	-26,8	-5,7
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
270°	průměr 62,8	-25,9	-5,4	
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
0°R	průměr 64,7	-26,7	-5,4	
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ	1,3	2,8	0,6	

D50				
Apollo 2	L*	a*	b*	
Cělá plocha	0°	průměr 45,1	17,2	30,6
		sm. odch. 0,0	0,0	0,0
	90°	průměr 47,5	16,2	29,7
		sm. odch. 0,0	0,0	0,0
	180°	průměr 44,9	17,2	30,5
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
270°	průměr 47,4	16,2	29,7	
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
0°R	průměr 44,9	17,2	30,4	
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ	1,2	0,5	0,4	

D65				
Apollo 2	L*	a*	b*	
Cělá plocha	0°	průměr 42,6	14,6	18,9
		sm. odch. 0,0	0,0	0,0
	90°	průměr 41,9	14,9	19,1
		sm. odch. 0,0	0,0	0,0
	180°	průměr 43,0	14,4	18,9
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
270°	průměr 42,4	14,9	19,0	
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
0°R	průměr 43,0	14,4	18,9	
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ	0,4	0,2	0,1	

D50				
Tibet 3	L*	a*	b*	
kyška střední (střední okvěti malé listy)	0°	průměr 71,5	-21,4	-4,7
		sm. odch. 0,1	0,1	0,0
	90°	průměr 73,4	-23,0	-5,2
		sm. odch. 0,2	0,3	0,1
	180°	průměr 72,5	-20,3	-4,4
	sm. odch. 0,0	0,1	0,0	
270°	průměr 73,1	-22,9	-5,3	
	sm. odch. 0,0	0,2	0,1	
0°R	průměr 71,1	-21,1	-4,6	
	sm. odch. 0,1	0,1	0,0	
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ	0,9	1,0	0,3	

D65				
Tibet 3	L*	a*	b*	
kyška střední (střední okvěti malé listy)	0°	průměr 64,5	-26,7	-5,3
		sm. odch. 0,0	0,0	0,0
	90°	průměr 65,0	-21,7	-4,1
		sm. odch. 0,0	0,1	0,1
	180°	průměr 66,3	-22,4	-4,8
	sm. odch. 0,0	0,1	0,0	
270°	průměr 65,2	-21,7	-4,8	
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
0°R	průměr 65,5	-23,0	-5,0	
	sm. odch. 0,0	0,1	0,1	
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ	0,6	1,9	0,3	

D50				
Apollo 2	L*	a*	b*	
plátňová vazba jemná - střed	0°	průměr 44,1	14,4	24,6
		sm. odch. 0,0	0,0	0,0
	90°	průměr 46,6	13,8	25,6
		sm. odch. 0,0	0,0	0,0
	180°	průměr 43,8	14,0	24,2
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
270°	průměr 46,3	13,8	25,4	
	sm. odch. 0,0	0,0	0,1	
0°R	průměr 44,3	14,1	24,1	
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ	1,2	0,2	0,6	

D65				
Apollo 2	L*	a*	b*	
plátňová vazba jemná - střed	0°	průměr 42,3	12,6	16,9
		sm. odch. 0,0	0,0	0,0
	90°	průměr 41,6	12,6	16,3
		sm. odch. 0,0	0,0	0,0
	180°	průměr 42,6	12,5	16,7
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
270°	průměr 42,0	12,6	16,0	
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
0°R	průměr 42,8	12,3	16,7	
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ	0,4	0,1	0,3	

D50				
Tibet 3	L*	a*	b*	
kyška zrnitá	0°	průměr 72,4	-21,6	-4,7
		sm. odch. 0,1	0,2	0,1
	90°	průměr 74,4	-21,8	-4,9
		sm. odch. 0,1	0,2	0,0
	180°	průměr 72,9	-20,8	-4,5
	sm. odch. 0,1	0,2	0,0	
270°	průměr 74,0	-22,3	-4,9	
	sm. odch. 0,0	0,1	0,0	
0°R	průměr 73,6	-19,9	-4,4	
	sm. odch. 0,2	0,2	0,0	
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ	0,7	0,9	0,2	

D65				
Tibet 3	L*	a*	b*	
kyška zrnitá	0°	průměr 65,2	-22,4	-4,5
		sm. odch. 0,0	0,1	0,0
	90°	průměr 65,5	-21,3	-4,5
		sm. odch. 0,1	0,1	0,0
	180°	průměr 66,9	-22,4	-4,8
	sm. odch. 0,0	0,0	0,1	
270°	průměr 64,8	-21,4	-4,8	
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
0°R	průměr 65,0	-22,5	-5,0	
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ	0,7	0,5	0,2	

D50				
Apollo 2	L*	a*	b*	
plátňová vazba hrubá - roh (nepřesli)	0°	průměr 44,9	15,9	27,5
		sm. odch. 0,0	0,0	0,0
	90°	průměr 49,0	14,8	27,6
		sm. odch. 0,1	0,0	0,0
	180°	průměr 47,7	15,7	27,7
	sm. odch. 0,1	0,0	0,0	
270°	průměr 49,5	15,0	27,5	
	sm. odch. 0,1	0,0	0,0	
0°R	průměr 44,7	15,9	27,3	
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ	2,0	0,5	0,1	

D65				
Apollo 2	L*	a*	b*	
plátňová vazba hrubá - roh (nepřesli)	0°	průměr 42,8	13,6	17,1
		sm. odch. 0,0	0,0	0,0
	90°	průměr 41,5	13,5	17,4
		sm. odch. 0,0	0,0	0,0
	180°	průměr 43,1	13,3	18,3
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
270°	průměr 43,1	13,6	17,9	
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
0°R	průměr 42,1	13,5	17,2	
	sm. odch. 0,1	0,0	0,0	
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ	0,6	0,1	0,4	

D50				
Tibet 3	L*	a*	b*	
střed	0°	průměr 78,2	-13,1	-2,1
		sm. odch. 0,2	0,1	0,1
	90°	průměr 74,5	-15,9	-2,8
		sm. odch. 0,2	0,1	0,1
	180°	průměr 78,4	-13,5	-2,3
	sm. odch. 0,0	0,1	0,0	
270°	průměr 73,9	-15,8	-3,1	
	sm. odch. 0,1	0,2	0,0	
0°R	průměr 78,1	-13,2	-1,9	
	sm. odch. 0,3	0,1	0,1	
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ	2,0	1,3	0,5	

D65				
Tibet 3	L*	a*	b*	
střed	0°	průměr 65,2	-22,4	-4,5
		sm. odch. 0,0	0,1	0,0
	90°	průměr 70,0	-14,5	-2,7
		sm. odch. 0,0	0,0	0,0
	180°	průměr 69,5	-15,6	-2,7
	sm. odch. 0,0	0,1	0,0	
270°	průměr 70,3	-14,2	-2,5	
	sm. odch. 0,0	0,0	0,1	
0°R	průměr 68,7	-16,1	-2,6	
	sm. odch. 0,0	0,0	0,0	
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ	1,9	3,0	0,8	

D50				
Apollo 2	L*	a*	b*	
klik/cak/jemný (lesklímat) oba pruhy u středního vzoru	0°	průměr 48,5	17,1	32,0
		sm. odch. 0,1	0,0	0,0
	90°	průměr 45,9	16,8	30,3
		sm. odch. 0,5	0,1	0,1



D50					D65					D50					D65													
Apollo 2					Apollo 2					Topas 1					Topas 1													
	L*	a*	b*		L*	a*	b*		L*	a*	b*		L*	a*	b*		L*	a*	b*									
lesklý pruh kolem středového vzoru (vnější)	0°	průměr 40,1 sm. odch. 0,1	18,2 0,1	31,1 0,1	0°	průměr 45,3 sm. odch. 0,0	15,0 0,0	20,9 0,0	Celá plocha	0°	průměr 84,0 sm. odch. 0,0	-0,7 0,0	-0,2 0,0	Celá plocha	0°	průměr 77,7 sm. odch. 0,0	-3,2 0,0	0,7 0,0										
	90°	průměr 56,0 sm. odch. 0,1	14,5 0,0	31,2 0,0	90°	průměr sm. odch.				90°	průměr 84,2 sm. odch. 0,0	-0,7 0,0	-0,1 0,0		90°	průměr 77,4 sm. odch. 0,0	-3,1 0,0	0,7 0,0										
	180°	průměr 38,7 sm. odch. 0,1	18,5 0,1	30,4 0,1	180°	průměr 46,1 sm. odch. 0,0	14,7 0,0	20,8 0,0		180°	průměr 84,0 sm. odch. 0,0	-0,7 0,0	-0,2 0,0		180°	průměr 77,4 sm. odch. 0,0	-3,0 0,0	0,8 0,0										
	270°	průměr 52,7 sm. odch. 0,0	15,4 0,0	30,9 0,0	270°	průměr sm. odch.				270°	průměr 84,3 sm. odch. 0,0	-0,6 0,0	-0,1 0,0		270°	průměr 77,7 sm. odch. 0,0	-3,3 0,0	0,7 0,0										
	0°R	průměr 40,1 sm. odch. 0,1	18,2 0,0	30,7 0,0	0°R	průměr 45,7 sm. odch. 0,0	14,8 0,0	20,7 0,0		0°R	průměr 84,4 sm. odch. 0,0	-0,7 0,0	-0,2 0,0		0°R	průměr 77,6 sm. odch. 0,0	-3,1 0,0	0,8 0,0										
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					7,3	1,7	0,3	směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				0,3	0,1	0,1	směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				0,2	0,0	0,0	směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				0,1	0,1	0,1
D50					D65					D50					D65													
Apollo 2					Apollo 2					Topas 1					Topas 1													
	L*	a*	b*		L*	a*	b*		L*	a*	b*		L*	a*	b*		L*	a*	b*									
matný pruh kolem středového vzoru (vnitřní)	0°	průměr 47,4 sm. odch. 0,1	18,0 0,0	33,1 0,1	0°	průměr 40,3 sm. odch. 0,0	15,2 0,0	18,7 0,0	D vnitřek	0°	průměr 82,0 sm. odch. 0,0	-0,9 0,0	-1,2 0,0	D vnitřek	0°	průměr 79,6 sm. odch. 0,0	-2,8 0,1	1,0 0,0										
	90°	průměr 42,5 sm. odch. 0,1	18,0 0,1	30,9 0,1	90°	průměr sm. odch.				90°	průměr 87,3 sm. odch. 0,0	-0,8 0,0	0,3 0,0		90°	průměr 78,3 sm. odch. 0,0	-3,5 0,0	0,4 0,0										
	180°	průměr 47,2 sm. odch. 0,1	18,0 0,0	33,1 0,1	180°	průměr 40,9 sm. odch. 0,0	15,6 0,1	18,8 0,0		180°	průměr 82,8 sm. odch. 0,0	-0,6 0,0	-1,6 0,0		180°	průměr 79,3 sm. odch. 0,0	-2,5 0,0	0,9 0,0										
	270°	průměr 39,7 sm. odch. 0,2	18,3 0,1	30,3 0,1	270°	průměr sm. odch.				270°	průměr 87,6 sm. odch. 0,0	-0,9 0,0	0,6 0,0		270°	průměr 78,0 sm. odch. 0,0	-3,6 0,0	0,3 0,0										
	0°R	průměr 47,2 sm. odch. 0,1	18,1 0,0	32,7 0,0	0°R	průměr 40,6 sm. odch. 0,0	14,8 0,0	18,5 0,0		0°R	průměr 82,4 sm. odch. 0,0	-0,6 0,0	-1,1 0,0		0°R	průměr 79,6 sm. odch. 0,0	-3,1 0,0	1,1 0,0										
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					3,2	0,1	1,2	směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				0,3	0,3	0,1	směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				2,5	0,1	0,9	směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				0,7	0,4	0,3
D50					D65					D50					D65													
Apollo 3					Apollo 3					Topas 1					Topas 1													
	L*	a*	b*		L*	a*	b*		L*	a*	b*		L*	a*	b*		L*	a*	b*									
Celá plocha	0°	průměr 67,1 sm. odch. 0,0	-5,5 0,0	-17,7 0,0	0°	průměr 63,7 sm. odch. 0,0	-9,8 0,0	-14,3 0,0	D vnitřní obrys	0°	průměr 85,9 sm. odch. 0,0	-0,8 0,0	0,2 0,0	D vnitřní obrys	0°	průměr 79,3 sm. odch. 0,0	-3,1 0,1	1,0 0,0										
	90°	průměr 70,6 sm. odch. 0,0	-5,1 0,0	-16,1 0,0	90°	průměr 62,4 sm. odch. 0,0	-9,9 0,0	-14,7 0,0		90°	průměr 83,3 sm. odch. 0,1	-0,2 0,0	-1,1 0,0		90°	průměr 80,0 sm. odch. 0,0	-2,7 0,1	1,0 0,1										
	180°	průměr 67,6 sm. odch. 0,0	-5,5 0,0	-17,7 0,0	180°	průměr 63,7 sm. odch. 0,0	-9,9 0,0	-14,4 0,0		180°	průměr 86,1 sm. odch. 0,0	-0,8 0,0	0,3 0,0		180°	průměr 80,0 sm. odch. 0,0	-2,7 0,1	1,0 0,1										
	270°	průměr 70,7 sm. odch. 0,0	-5,2 0,0	-16,0 0,0	270°	průměr 62,9 sm. odch. 0,0	-10,0 0,0	-14,7 0,0		270°	průměr 83,3 sm. odch. 0,0	-0,0 0,0	-1,1 0,0		270°	průměr 80,1 sm. odch. 0,1	-2,7 0,1	1,0 0,1										
	0°R	průměr 67,3 sm. odch. 0,0	-5,4 0,0	-17,7 0,0	0°R	průměr 63,4 sm. odch. 0,0	-9,8 0,0	-14,3 0,0		0°R	průměr 86,2 sm. odch. 0,1	-0,7 0,0	0,1 0,0		0°R	průměr 80,0 sm. odch. 0,0	-2,7 0,0	1,0 0,0										
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					1,7	0,1	0,8	směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				0,5	0,1	0,2	směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				1,4	0,4	0,6	směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				0,3	0,2	0,0
D50					D65					D50					D65													
Apollo 3					Apollo 3					Topas 1					Topas 1													
	L*	a*	b*		L*	a*	b*		L*	a*	b*		L*	a*	b*		L*	a*	b*									
podklad	0°	průměr 63,8 sm. odch. 0,0	-5,9 0,0	-18,5 0,0	0°	průměr 65,3 sm. odch. 0,0	-9,6 0,0	-13,6 0,0	D vnější obrys	0°	průměr 82,8 sm. odch. 0,0	-0,3 0,0	-1,1 0,0	D vnější obrys	0°	průměr 77,5 sm. odch. 0,1	-2,8 0,1	1,0 0,0										
	90°	průměr 76,9 sm. odch. 0,0	-4,5 0,0	-13,4 0,0	90°	průměr 64,7 sm. odch. 0,0	-9,4 0,0	-13,5 0,0		90°	průměr 85,9 sm. odch. 0,0	-0,8 0,0	0,2 0,0		90°	průměr 77,1 sm. odch. 0,0	-3,6 0,0	0,4 0,0										
	180°	průměr 64,2 sm. odch. 0,0	-5,9 0,0	-18,9 0,0	180°	průměr 64,7 sm. odch. 0,0	-9,4 0,0	-13,5 0,0		180°	průměr 83,3 sm. odch. 0,0	-0,6 0,0	-1,0 0,0		180°	průměr 76,3 sm. odch. 0,0	-2,8 0,0	0,5 0,0										
	270°	průměr 77,5 sm. odch. 0,0	-4,4 0,0	-13,1 0,0	270°	průměr 64,4 sm. odch. 0,0	-9,8 0,0	-12,9 0,0		270°	průměr 86,4 sm. odch. 0,0	-1,0 0,0	0,6 0,0		270°	průměr 76,0 sm. odch. 0,0	-3,1 0,0	0,9 0,0										
	0°R	průměr 64,1 sm. odch. 0,1	-5,7 0,0	-18,5 0,1	0°R	průměr 64,4 sm. odch. 0,0	-9,8 0,0	-12,9 0,0		0°R	průměr 83,2 sm. odch. 0,0	-0,0 0,0	-1,1 0,0		0°R	průměr 76,8 sm. odch. 0,0	-3,2 0,0	1,2 0,0										
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					6,5	0,7	2,7	směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				0,4	0,2	0,3	směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				1,5	0,4	0,7	směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				0,5	0,3	0,3
D50					D65					D50					D65													
Apollo 3					Apollo 3					Topas 2					Topas 2													
	L*	a*	b*		L*	a*	b*		L*	a*	b*		L*	a*	b*		L*	a*	b*									
vzor X	0°	průměr 70,5 sm. odch. 0,0	-4,7 0,0	-17,9 0,1	0°	průměr 61,5 sm. odch. 0,0	-10,5 0,0	-17,1 0,0	Celá plocha	0°	průměr 83,9 sm. odch. 0,0	-0,5 0,0	-0,4 0,0	Celá plocha	0°	průměr 77,7 sm. odch. 0,0	-3,2 0,0	0,6 0,0										
	90°	průměr 65,8 sm. odch. 0,0	-5,8 0,0	-20,4 0,0	90°	průměr 61,5 sm. odch. 0,0	-10,6 0,0	-17,2 0,0		90°	průměr 84,1 sm. odch. 0,0	-0,6 0,0	-0,2 0,0		90°	průměr 77,5 sm. odch. 0,0	-3,2 0,0	0,7 0,0										
	180°	průměr 70,6 sm. odch. 0,0	-4,9 0,0	-18,0 0,1	180°	průměr 61,5 sm. odch. 0,0	-10,6 0,0	-17,2 0,0		180°	průměr 83,8 sm. odch. 0,0	-0,5 0,0	-0,4 0,0		180°	průměr 77,7 sm. odch. 0,0	-3,3 0,0	0,6 0,0										
	270°	průměr 65,0 sm. odch. 0,1	-6,2 0,0	-20,8 0,0	270°	průměr 61,1 sm. odch. 0,0	-10,5 0,1	-17,1 0,0		270°	průměr 84,2 sm. odch. 0,0	-0,6 0,0	-0,2 0,0		270°	průměr 77,7 sm. odch. 0,0	-3,0 0,0	0,8 0,0										
	0°R	průměr 70,5 sm. odch. 0,1	-4,9 0,0	-18,1 0,1	0°R	průměr 61,1 sm. odch. 0,0	-10,5 0,1	-17,1 0,0		0°R	průměr 83,8 sm. odch. 0,0	-0,5 0,0	-0,4 0,0		0°R	průměr 77,4 sm. odch. 0,0	-3,1 0,0	0,7 0,0										
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					2,5	0,6	1,3	směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				0,2	0,0	0,1	směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				0,2	0,1	0,1	směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				0,3	0,1	0,1
D50					D65					D50					D65													
Apollo 3					Apollo 3					Topas 2					Topas 2													
	L*	a*	b*		L*	a*	b*		L*	a*	b*		L*	a*	b*		L*	a*	b*									
vzor průbuhový	0°	průměr 67,1 sm. odch. 0,1	-5,2 0,1	-18,7 0,0	0°	průměr 65,5 sm. odch. 0,1	-9,5 0,0	-13,9 0,1	vzor průbuhový	0°	průměr 87,0 sm. odch. 0,0	-0,8 0,0	0,2 0,0	vzor průbuhový	0°	průměr 78,5 sm. odch. 0,0	-3,2 0,0	0,5 0,0										
	90°	průměr 73,7 sm. odch. 0,1	-4,6 0,0	-14,8 0,1	90°	průměr 65,5 sm. odch. 0,1	-9,3 0,0	-13,8 0,1		90°	průměr 82,2 sm. odch. 0,0	-0,5 0,0	-1,8 0,0		90°	průměr 77,5 sm. odch. 0,0	-3,6 0,0	0,4 0,0										
	180°	průměr 66,3 sm. odch. 0,0	-5,5 0,0	-18,7 0,0	180°	průměr 65,5 sm. odch. 0,1	-9,3 0,0	-13,8 0,1		180°	průměr 87,1 sm. odch. 0,0	-0,8 0,0	0,2 0,0		180°	průměr 79,8 sm. odch. 0,0	-3,3 0,0	0,8 0,0										
	270°	průměr 71,8 sm. odch. 0,1	-4,8 0,0	-15,7 0,0	270°	průměr 65,1 sm. odch. 0,1	-9,5 0,0	-14,0 0,1		270°	průměr 80,9 sm. odch. 0,0	-0,1 0,0	-1,2 0,1		270°	průměr 77,6 sm. odch. 0,0	-3,1 0,0	0,5 0,0										
	0°R	průměr 67,1 sm. odch. 0,1	-5,4 0,0	-18,0 0,1	0°R	průměr 65,1 sm. odch. 0,1	-9,5 0,0	-14,0 0,1		0°R	průměr 86,9 sm. odch. 0,0	-0,8 0,0	0,3 0,0		0°R	průměr 78,9 sm. odch. 0,0	-2,4 0,0	0,4 0,0										
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					3,0	0,4	1,6	směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				0,2	0,1	0,1	směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				2,7	0,3	0,9	směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				0,9	0,4	0,2



D50					
Topas 2		L*	a*	b*	
podélná vzoru - ovál	0°	průměr	83,1	0,0	-1,1
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	86,3	-0,8	0,0
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	82,6	-0,1	-1,1
	sm. odch.	0,1	0,2	0,0	
	270°	průměr	86,5	-0,8	0,3
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	83,0	-0,1	-1,1
		sm. odch.	0,0	0,1	0,0
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ			1,7	0,4	0,6

D65					
Topas 2		L*	a*	b*	
podélná vzoru - ovál	0°	průměr	77,9	-3,4	0,4
		sm. odch.	0,0	0,0	0,1
	90°	průměr	79,5	-3,4	1,2
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	77,8	-3,6	0,4
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	
	270°	průměr	79,5	-2,6	1,1
		sm. odch.	0,0	0,0	0,1
	0°R	průměr	77,9	-3,5	0,4
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ			0,8	0,3	0,4

D50					
Topas 3		L*	a*	b*	
pozář (měsíc)	0°	průměr	87,3	-0,5	-0,3
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	81,8	-0,5	-2,0
		sm. odch.	0,1	0,0	0,0
	180°	průměr	87,2	-0,1	-0,9
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	
	270°	průměr	81,6	-0,7	-2,0
		sm. odch.	0,1	0,0	0,0
	0°R	průměr	87,0	-0,5	-0,3
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ			2,7	0,2	0,8

D65					
Topas 3		L*	a*	b*	
pozář (měsíc)	0°	průměr	80,4	-3,4	0,4
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	77,9	-3,5	0,0
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	79,3	-2,7	0,5
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	
	270°	průměr	77,5	-3,5	0,3
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	79,5	-2,8	0,5
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ			1,1	0,4	0,2

D50					
Topas 3		L*	a*	b*	
Celá pláche	0°	průměr	84,6	-0,3	-1,0
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	82,9	-0,2	-1,5
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	84,7	-0,3	-1,0
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	
	270°	průměr	82,7	-0,2	-1,5
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	84,3	-0,3	-0,9
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ			0,9	0,0	0,3

D65					
Topas 3		L*	a*	b*	
Celá pláche	0°	průměr	78,6	-3,4	0,4
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	77,3	-3,4	0,3
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	77,5	-3,0	0,5
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	
	270°	průměr	77,1	-3,1	0,4
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	77,6	-2,9	0,5
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ			0,5	0,2	0,1

D50					
Topas 3		L*	a*	b*	
vzor (měsíc)	0°	průměr	83,1	-0,4	-2,0
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	85,6	0,0	-1,1
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	82,9	-0,4	-2,0
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	
	270°	průměr	85,7	0,0	-1,1
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	82,7	-0,4	-2,0
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ			1,4	0,2	0,4

D65					
Topas 3		L*	a*	b*	
vzor (měsíc)	0°	průměr	78,8	-3,5	0,2
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	79,0	-3,4	0,3
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	77,8	-3,4	0,3
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	
	270°	průměr	78,6	-3,2	0,4
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	77,9	-3,2	0,3
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ			0,5	0,1	0,1

Tabulka 24. Naměřené kolorimetrické hodnoty L^* , a^* , b^* , pomocí obrazové analýzy při natáčení vzorků v úhlu Φ u strukturních vzorků

D50				D65				D50				D65							
D393 barevný				D393 barevný				4001				4001							
	L^*	a^*	b^*		L^*	a^*	b^*		L^*	a^*	b^*		L^*	a^*	b^*				
Celá plocha	0°	průměr 46,7 sm. odch. 0,1	4,1 0,0	10,4 0,0	0°	průměr 44,8 sm. odch. 0,0	3,1 0,0	6,5 0,0	0°	průměr 82,3 sm. odch. 0,0	-1,0 0,0	6,0 0,0	0°	průměr 77,7 sm. odch. 0,0	-2,3 0,0	4,6 0,0			
	90°	průměr 46,1 sm. odch. 0,0	4,2 0,0	10,6 0,0	90°	průměr 45,0 sm. odch. 0,0	3,1 0,0	6,5 0,0	90°	průměr 81,6 sm. odch. 0,0	-1,0 0,0	6,1 0,0	90°	průměr 77,9 sm. odch. 0,0	-2,3 0,0	4,6 0,0			
	180°	průměr 46,5 sm. odch. 0,1	4,0 0,0	10,5 0,0	180°	průměr 44,5 sm. odch. 0,0	3,2 0,0	6,5 0,0	180°	průměr 82,0 sm. odch. 0,0	-1,0 0,0	5,9 0,0	180°	průměr 77,7 sm. odch. 0,0	-2,3 0,0	4,7 0,0			
	270°	průměr 45,8 sm. odch. 0,1	4,1 0,0	10,5 0,0	270°	průměr 44,5 sm. odch. 0,0	3,2 0,0	6,6 0,0	270°	průměr 81,6 sm. odch. 0,0	-1,0 0,0	6,1 0,0	270°	průměr 78,1 sm. odch. 0,0	-2,4 0,0	4,6 0,0			
	0°R	průměr 46,5 sm. odch. 0,1	4,0 0,0	10,5 0,0	0°R	průměr 44,3 sm. odch. 0,0	3,1 0,0	6,5 0,0	0°R	průměr 82,0 sm. odch. 0,0	-1,0 0,0	6,0 0,0	0°R	průměr 77,9 sm. odch. 0,0	-2,3 0,0	4,6 0,0			
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				0,3 0,1 0,1				0,2 0,1 0,0				0,3 0,0 0,0				0,1 0,0 0,1			
D50				D65				D50				D65							
D393 barevný				D393 barevný				1320				1320							
Bílá	0°	průměr 85,2 sm. odch. 0,0	-0,1 0,0	7,1 0,0	0°	průměr 77,9 sm. odch. 0,0	-1,2 0,0	7,0 0,0	0°	průměr 69,4 sm. odch. 0,0	8,3 0,0	47,3 0,0	0°	průměr 63,8 sm. odch. 0,0	11,6 0,0	39,3 0,0			
	90°	průměr 84,8 sm. odch. 0,0	-0,2 0,0	7,3 0,0	90°	průměr 78,4 sm. odch. 0,1	-1,0 0,0	6,8 0,0	90°	průměr 67,2 sm. odch. 0,0	9,5 0,0	47,9 0,0	90°	průměr 63,4 sm. odch. 0,0	11,8 0,0	39,5 0,0			
	180°	průměr 83,7 sm. odch. 0,0	-0,3 0,0	7,7 0,0	180°	průměr 77,5 sm. odch. 0,0	-1,1 0,0	6,8 0,0	180°	průměr 69,1 sm. odch. 0,0	8,4 0,0	47,7 0,0	180°	průměr 64,4 sm. odch. 0,0	11,6 0,0	39,5 0,0			
	270°	průměr 84,6 sm. odch. 0,0	-0,3 0,0	7,3 0,0	270°	průměr 77,1 sm. odch. 0,0	-1,2 0,0	7,0 0,0	270°	průměr 67,6 sm. odch. 0,0	9,4 0,0	47,9 0,0	270°	průměr 63,9 sm. odch. 0,0	11,9 0,0	39,5 0,0			
	0°R	průměr 85,0 sm. odch. 0,0	0,0 0,0	7,0 0,0	0°R	průměr 77,4 sm. odch. 0,0	-1,1 0,0	6,8 0,0	0°R	průměr 69,7 sm. odch. 0,0	8,2 0,0	47,5 0,0	0°R	průměr 64,3 sm. odch. 0,0	11,5 0,0	39,4 0,0			
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				0,5 0,1 0,2				0,4 0,1 0,1				1,0 0,6 0,2				0,4 0,2 0,1			
D50				D65				D50				D65							
D393 barevný				D393 barevný				9355				9355							
Hnědá	0°	průměr 41,8 sm. odch. 0,0	4,7 0,0	11,0 0,0	0°	průměr 40,3 sm. odch. 0,0	3,9 0,0	6,6 0,0	0°	průměr 74,3 sm. odch. 0,0	-3,5 0,0	27,9 0,0	0°	průměr 64,9 sm. odch. 0,0	-1,1 0,0	25,9 0,0			
	90°	průměr 41,1 sm. odch. 0,0	5,0 0,0	11,2 0,0	90°	průměr 40,5 sm. odch. 0,0	3,8 0,0	6,9 0,0	90°	průměr 55,9 sm. odch. 0,0	-2,8 0,0	29,3 0,0	90°	průměr 60,7 sm. odch. 0,0	-1,1 0,0	25,2 0,0			
	180°	průměr 41,6 sm. odch. 0,0	4,7 0,0	11,2 0,0	180°	průměr 40,3 sm. odch. 0,0	4,0 0,0	6,7 0,0	180°	průměr 73,9 sm. odch. 0,0	-3,6 0,0	27,7 0,0	180°	průměr 65,3 sm. odch. 0,0	-1,1 0,0	25,9 0,0			
	270°	průměr 40,4 sm. odch. 0,0	4,8 0,0	11,3 0,0	270°	průměr 39,9 sm. odch. 0,0	4,1 0,0	6,4 0,0	270°	průměr 57,7 sm. odch. 0,0	-2,9 0,0	29,4 0,0	270°	průměr 60,0 sm. odch. 0,0	-0,9 0,0	25,1 0,0			
	0°R	průměr 41,5 sm. odch. 0,0	4,6 0,0	11,1 0,0	0°R	průměr 39,7 sm. odch. 0,0	3,8 0,0	6,5 0,0	0°R	průměr 74,1 sm. odch. 0,0	-3,6 0,0	28,1 0,0	0°R	průměr 64,5 sm. odch. 0,0	-1,1 0,0	25,9 0,0			
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				0,5 0,1 0,1				0,3 0,1 0,2				8,5 0,3 0,7				2,2 0,1 0,4			
D50				D65				D50				D65							
3500				3500				E001				E001							
Celá plocha	0°	průměr 72,4 sm. odch. 0,0	-0,9 0,0	0,6 0,0	0°	průměr 69,2 sm. odch. 0,0	-3,7 0,0	0,0 0,0	0°	průměr 86,3 sm. odch. 0,0	-1,3 0,0	2,3 0,0	0°	průměr 81,4 sm. odch. 0,0	-2,8 0,0	2,9 0,0			
	90°	průměr 60,6 sm. odch. 0,0	-1,3 0,0	0,5 0,0	90°	průměr 72,9 sm. odch. 0,0	-3,5 0,0	0,3 0,0	90°	průměr 87,1 sm. odch. 0,0	-1,3 0,0	2,2 0,0	90°	průměr 81,0 sm. odch. 0,0	-3,0 0,0	2,7 0,0			
	180°	průměr 73,1 sm. odch. 0,0	-0,8 0,0	0,6 0,0	180°	průměr 69,3 sm. odch. 0,0	-3,7 0,0	-0,1 0,0	180°	průměr 86,5 sm. odch. 0,0	-1,3 0,0	2,3 0,0	180°	průměr 81,0 sm. odch. 0,0	-2,8 0,0	2,7 0,0			
	270°	průměr 61,3 sm. odch. 0,0	-1,3 0,0	0,5 0,0	270°	průměr 72,7 sm. odch. 0,0	-3,6 0,0	0,3 0,0	270°	průměr 86,9 sm. odch. 0,0	-1,3 0,0	2,2 0,0	270°	průměr 81,3 sm. odch. 0,0	-2,9 0,0	2,7 0,0			
	0°R	průměr 72,0 sm. odch. 0,0	-0,8 0,0	0,6 0,0	0°R	průměr 69,3 sm. odch. 0,0	-3,7 0,0	-0,2 0,0	0°R	průměr 86,5 sm. odch. 0,0	-1,3 0,0	2,3 0,0	0°R	průměr 81,2 sm. odch. 0,0	-3,0 0,0	2,7 0,0			
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				5,7 0,3 0,0				1,7 0,1 0,2				0,3 0,0 0,0				0,1 0,1 0,0			
D50				D65				D50				D65							
3500				3500				E001				E001							
Struktura pruh	0°	průměr 73,0 sm. odch. 0,0	-1,0 0,0	0,7 0,0	0°	průměr 68,3 sm. odch. 0,0	-3,6 0,0	-0,3 0,0	0°	průměr 87,7 sm. odch. 0,0	-1,3 0,0	2,5 0,0	0°	průměr 81,4 sm. odch. 0,0	-2,8 0,0	2,9 0,0			
	90°	průměr 59,2 sm. odch. 0,1	-1,5 0,0	0,4 0,0	90°	průměr 73,1 sm. odch. 0,0	-3,6 0,0	0,4 0,0	90°	průměr 87,8 sm. odch. 0,0	-1,2 0,0	2,5 0,0	90°	průměr 81,0 sm. odch. 0,0	-3,2 0,0	3,6 0,0			
	180°	průměr 75,9 sm. odch. 0,0	-0,7 0,0	0,6 0,0	180°	průměr 68,7 sm. odch. 0,0	-3,8 0,0	-0,1 0,0	180°	průměr 87,5 sm. odch. 0,0	-1,2 0,0	2,6 0,0	180°	průměr 81,3 sm. odch. 0,0	-3,0 0,0	3,4 0,0			
	270°	průměr 58,2 sm. odch. 0,0	-1,6 0,0	0,6 0,0	270°	průměr 73,1 sm. odch. 0,0	-3,5 0,0	0,2 0,0	270°	průměr 86,6 sm. odch. 0,0	-1,3 0,0	2,7 0,0	270°	průměr 82,4 sm. odch. 0,0	-2,7 0,0	2,9 0,0			
	0°R	průměr 72,7 sm. odch. 0,0	-0,8 0,0	0,7 0,0	0°R	průměr 68,4 sm. odch. 0,0	-3,5 0,0	-0,5 0,0	0°R	průměr 87,9 sm. odch. 0,0	-1,3 0,0	2,5 0,0	0°R	průměr 81,5 sm. odch. 0,0	-2,9 0,0	2,9 0,0			
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				7,5 0,4 0,1				2,3 0,1 0,3				0,5 0,1 0,1				0,5 0,2 0,3			
D50				D65				D50				D65							
3500				3500				E001				E001							
Struktura kamínků	0°	průměr 76,0 sm. odch. 0,1	-0,6 0,0	0,5 0,0	0°	průměr 71,9 sm. odch. 0,0	-3,6 0,0	0,4 0,0	0°	průměr 87,5 sm. odch. 0,0	-1,2 0,0	1,9 0,0	0°	průměr 81,6 sm. odch. 0,0	-3,3 0,0	2,8 0,0			
	90°	průměr 67,1 sm. odch. 0,0	-0,9 0,0	0,5 0,0	90°	průměr 73,7 sm. odch. 0,0	-3,5 0,0	0,2 0,0	90°	průměr 87,6 sm. odch. 0,1	-1,3 0,0	2,2 0,0	90°	průměr 81,7 sm. odch. 0,0	-3,2 0,0	2,7 0,0			
	180°	průměr 75,3 sm. odch. 0,0	-0,6 0,0	0,5 0,0	180°	průměr 71,5 sm. odch. 0,0	-3,6 0,0	0,2 0,0	180°	průměr 87,1 sm. odch. 0,0	-1,3 0,0	2,2 0,0	180°	průměr 81,9 sm. odch. 0,0	-3,1 0,0	2,7 0,0			
	270°	průměr 69,0 sm. odch. 0,0	-0,7 0,0	0,3 0,0	270°	průměr 73,4 sm. odch. 0,0	-3,5 0,0	0,4 0,0	270°	průměr 87,4 sm. odch. 0,0	-1,4 0,0	2,1 0,0	270°	průměr 81,3 sm. odch. 0,0	-3,3 0,0	2,6 0,0			
	0°R	průměr 75,5 sm. odch. 0,1	-0,5 0,0	0,5 0,0	0°R	průměr 72,0 sm. odch. 0,0	-3,7 0,0	0,3 0,0	0°R	průměr 86,9 sm. odch. 0,1	-1,3 0,0	2,3 0,1	0°R	průměr 82,1 sm. odch. 0,0	-2,8 0,0	2,7 0,0			
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				3,8 0,1 0,1				0,9 0,1 0,1				0,3 0,0 0,2				0,3 0,2 0,0			

D50					D65					D50					D65									
E001					E001					9350					9350									
U	0°	průměr	L*	a*	b*	0°	průměr	L*	a*	b*	0°	průměr	L*	a*	b*	0°	průměr	L*	a*	b*				
		sm. odch.	4,5	-0,2	1,0		0,0	23,4	-0,2	-2,4		0,1	0,0	0,0	53,9		20,4	27,7	0,0	0,0	0,0	52,7	19,5	22,2
90°	průměr	5,0	-0,3	1,1	0,1	20,3	-0,3	-2,5	0,0	0,0	0,0	53,4	20,4	27,5	0,0	0,0	0,0	52,4	19,5	22,0	0,0	0,0	0,0	
	sm. odch.	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
180°	průměr	4,4	-0,3	1,0	0,1	18,8	0,3	-2,7	0,1	0,0	0,0	53,9	20,2	27,6	0,0	0,0	0,0	52,7	19,6	22,2	0,0	0,0	0,0	
	sm. odch.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
270°	průměr	5,5	-0,6	1,4	0,2	19,7	-0,2	-2,7	0,1	0,0	0,0	54,0	20,3	27,6	0,0	0,0	0,0	53,0	19,4	21,9	0,0	0,0	0,0	
	sm. odch.	0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0°R	průměr	4,6	-0,4	1,1	0,1	22,2	-0,7	-2,5	0,1	0,0	0,0	53,9	20,3	27,8	0,0	0,0	0,0	53,0	19,5	22,1	0,0	0,0	0,0	
sm. odch.	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ									
0,4					0,1					0,2					0,1									

D50					D65					D50					D65									
E001					E001					9350					9350									
O	0°	průměr	L*	a*	b*	0°	průměr	L*	a*	b*	0°	průměr	L*	a*	b*	0°	průměr	L*	a*	b*				
		sm. odch.	86,5	-1,2	2,4		0,0	0,0	82,5	-2,6		2,9	0,0	0,8	0,0		55,0	20,4	26,8	0,1	0,0	0,0	53,4	19,8
90°	průměr	88,4	-1,2	2,1	0,0	0,0	82,5	-3,0	2,9	0,0	0,0	54,6	20,1	26,5	0,1	0,0	0,0	54,0	19,8	21,8	0,0	0,0	0,0	
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
180°	průměr	86,9	-1,2	2,4	0,0	0,0	82,2	-2,6	2,9	0,0	0,0	55,8	20,2	26,8	0,1	0,0	0,0	53,0	19,8	21,5	0,0	0,0	0,0	
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
270°	průměr	88,5	-1,2	2,2	0,0	0,0	81,9	-2,8	2,9	0,0	0,0	56,4	20,2	26,8	0,1	0,0	0,0	54,2	19,5	22,1	0,0	0,0	0,0	
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0°R	průměr	86,8	-1,2	2,4	0,0	0,0	82,2	-2,7	2,9	0,0	0,0	55,1	20,3	27,0	0,1	0,0	0,0	53,7	19,7	22,4	0,0	0,0	0,0	
sm. odch.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ									
0,8					0,0					0,1					0,4									

D50					D65					D50					D65								
E001					E001					9350					9350								
U	0°	průměr	L*	a*	b*	0°	průměr	L*	a*	b*	0°	průměr	L*	a*	b*	0°	průměr	L*	a*	b*			
		sm. odch.	87,4	-1,3	2,3		0,0	0,0	81,4	-3,3		3,0	0,0	0,0	53,4		20,4	28,0	0,0	0,0	0,0	52,4	19,5
90°	průměr	86,8	-1,3	2,4	0,1	0,0	81,9	-3,0	2,9	0,0	0,0	52,6	20,5	27,9	0,0	0,0	0,0	51,9	19,5	22,1	0,0	0,0	0,0
	sm. odch.	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
180°	průměr	87,5	-1,3	2,2	0,0	0,0	80,8	-3,1	2,9	0,0	0,0	53,2	20,2	27,9	0,0	0,0	0,0	52,5	19,5	22,4	0,0	0,0	0,0
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
270°	průměr	88,0	-1,2	2,1	0,1	0,0	80,8	-2,8	3,0	0,0	0,0	53,0	20,4	27,9	0,0	0,0	0,0	52,5	19,4	21,8	0,0	0,0	0,0
	sm. odch.	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0°R	průměr	87,7	-1,2	2,3	0,0	0,0	81,3	-3,2	3,0	0,0	0,0	53,5	20,3	28,1	0,0	0,0	0,0	52,7	19,4	22,1	0,0	0,0	0,0
sm. odch.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ								
0,4					0,0					0,1					0,2								

D50					D65						
D393 jednobarevný					D393 jednobarevný						
Célí plocha	0°	průměr	L*	a*	b*	0°	průměr	L*	a*	b*	
		sm. odch.	34,3	5,6	13,2		0,0	0,0	35,0	4,9	7,1
90°	průměr	33,4	5,8	13,2	0,0	0,0	35,2	4,7	7,1	0,0	0,0
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
180°	průměr	34,6	5,6	13,3	0,0	0,0	35,2	4,7	7,1	0,0	0,0
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
270°	průměr	33,9	5,9	13,2	0,0	0,0	35,8	4,8	7,1	0,0	0,0
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0°R	průměr	34,0	5,6	13,2	0,0	0,0	35,3	4,9	7,1	0,0	0,0
sm. odch.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ						
0,4					0,1						

D50					D65						
D393 jednobarevný					D393 jednobarevný						
Célí plocha	0°	průměr	L*	a*	b*	0°	průměr	L*	a*	b*	
		sm. odch.	34,3	5,6	13,2		0,0	0,0	35,0	4,9	7,1
90°	průměr	33,4	5,8	13,2	0,0	0,0	35,2	4,7	7,1	0,0	0,0
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
180°	průměr	34,6	5,6	13,3	0,0	0,0	35,2	4,7	7,1	0,0	0,0
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
270°	průměr	33,9	5,9	13,2	0,0	0,0	35,8	4,8	7,1	0,0	0,0
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0°R	průměr	34,0	5,6	13,2	0,0	0,0	35,3	4,9	7,1	0,0	0,0
sm. odch.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ						
0,4					0,1						



Tabulka 25. Naměřené kolorimetrické hodnoty L^* , a^* , b^* , pomocí obrazové analýzy při natáčení vzorků v úhlu Φ u textilních vzorků

D50					D65					D50					D65				
5000					5000					1700					1700				
Celá plocha	0°	průměr	41,4	-2,4	-0,6	průměr	66,9	-3,6	-0,1	průměr	49,1	0,9	29,3	průměr	61,3	1,5	26,0		
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0		
	90°	průměr	41,5	-2,4	-0,5	průměr	66,7	-3,6	-0,2	průměr	48,9	0,9	29,2	průměr	61,5	1,6	26,1		
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0		
	180°	průměr	41,4	-2,4	-0,5	průměr	66,6	-3,6	-0,3	průměr	49,6	0,9	29,4	průměr	61,3	1,7	26,0		
		sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0		
270°	průměr	41,9	-2,3	-0,5	průměr	67,2	-3,6	-0,2	průměr	47,9	1,0	29,1	průměr	61,3	1,7	26,1			
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0			
0°R	průměr	41,7	-2,4	-0,6	průměr	66,9	-3,6	-0,1	průměr	48,9	0,9	29,2	průměr	61,4	1,6	26,0			
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0			
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				
0,2					0,0					0,0					0,1				
D50					D65					D50					D65				
3500					3500					4001					4001				
Celá plocha	0°	průměr	39,8	-2,4	-0,8	průměr	66,6	-3,6	-0,2	průměr	81,6	-1,1	5,8	průměr	79,9	-2,8	4,1		
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0		
	90°	průměr	39,9	-2,4	-0,8	průměr	66,2	-3,7	-0,3	průměr	82,1	-1,1	5,7	průměr	80,3	-2,7	3,9		
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0		
	180°	průměr	39,6	-2,4	-0,8	průměr	65,8	-3,6	-0,2	průměr	81,6	-1,2	5,8	průměr	80,1	-2,6	4,0		
		sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0		
270°	průměr	40,7	-2,5	-0,8	průměr	65,9	-3,6	-0,4	průměr	81,7	-1,1	5,7	průměr	80,6	-2,7	4,0			
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0			
0°R	průměr	40,2	-2,4	-0,8	průměr	67,0	-3,8	-0,2	průměr	81,3	-1,1	5,8	průměr	80,1	-2,8	4,0			
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0			
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				
0,4					0,0					0,0					0,1				
D50					D65					D50					D65				
2001					2001					1542					1542				
Celá plocha	0°	průměr	81,4	-1,7	4,8	průměr	80,4	-2,9	3,0	průměr	29,6	41,4	29,3	průměr	38,1	38,4	17,2		
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0		
	90°	průměr	81,8	-1,7	4,8	průměr	80,4	-2,9	3,1	průměr	29,2	41,1	29,0	průměr	38,0	38,3	17,2		
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0		
	180°	průměr	81,7	-1,7	4,7	průměr	80,5	-3,0	3,0	průměr	29,3	41,2	29,0	průměr	38,7	38,6	17,3		
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0		
270°	průměr	81,3	-1,7	4,9	průměr	80,5	-2,9	3,1	průměr	29,4	41,2	29,1	průměr	37,7	38,3	17,2			
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0			
0°R	průměr	81,7	-1,7	4,7	průměr	80,3	-2,9	3,1	průměr	29,3	41,2	29,1	průměr	37,6	38,3	17,4			
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0			
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				
0,2					0,0					0,1					0,1				
D50					D65					D50					D65				
2000					2000					1502					1502				
Celá plocha	0°	průměr	55,5	-2,4	0,7	průměr	68,4	-3,8	-0,1	průměr	37,8	28,1	34,5	průměr	51,2	20,4	26,6		
		sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0		
	90°	průměr	55,5	-2,3	0,7	průměr	68,5	-3,9	-0,1	průměr	39,6	27,7	35,1	průměr	50,6	20,5	26,5		
		sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0		
	180°	průměr	55,1	-2,3	0,7	průměr	68,7	-3,8	-0,2	průměr	37,8	28,1	34,4	průměr	51,0	20,4	26,6		
		sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0		
270°	průměr	55,1	-2,3	0,7	průměr	67,9	-3,9	0,1	průměr	39,5	27,7	35,1	průměr	50,8	20,3	26,4			
	sm. odch.	0,1	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0			
0°R	průměr	55,4	-2,3	0,8	průměr	67,9	-3,8	0,0	průměr	37,7	28,0	34,5	průměr	51,8	20,3	26,5			
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0			
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				
0,2					0,0					0,0					0,1				
D50					D65					D50					D65				
E001					E001					1320					1320				
Celá plocha	0°	průměr	83,3	-0,8	4,2	průměr	80,5	-2,5	2,9	průměr	66,4	7,3	46,4	průměr	66,2	9,4	38,7		
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0		
	90°	průměr	83,6	-0,9	4,1	průměr	80,6	-2,7	2,9	průměr	66,8	7,3	46,5	průměr	66,5	9,4	38,9		
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0		
	180°	průměr	83,4	-0,8	4,2	průměr	81,6	-2,8	2,9	průměr	66,9	7,2	46,4	průměr	66,4	9,4	39,0		
		sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0		
270°	průměr	83,7	-0,9	4,2	průměr	80,7	-2,8	2,9	průměr	66,7	7,3	46,5	průměr	66,9	9,5	39,0			
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0			
0°R	průměr	83,3	-0,8	4,2	průměr	80,7	-2,6	2,9	průměr	66,6	7,2	46,4	průměr	66,6	9,4	39,0			
	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0	sm. odch.	0,0	0,0	0,0			
směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ					směrodatná odchylka průměrných hodnot jednotlivých úhlů Φ				
0,2					0,0					0,0					0,1				



Příloha 5: Naměřené kolorimetrické hodnoty L^* , a^* , b^* ,
obrazovou analýzou při natáčení vzorků v úhlu Φ a v horizontální
ose

Tabulka 26. Naměřené kolorimetrické hodnoty L^* , a^* , b^* , obrazovou analýzou při natáčení vzorků v úhlech Φ a v horizontální ose textálních vzorků

Úhel naklonění v horizontální ose	Φ		TIBET 1			TIBET 2			TIBET 3			APOLLO 1			APOLLO 2		
			L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
0°	0°	průměr	52,9	-23,5	-5,7	49,9	-2,0	7,3	55,7	-20,8	-5,0	66,7	-2,6	-5,2	30,7	14,4	23,1
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	48,8	-20,6	-5,2	51,5	-2,0	7,5	52,8	-18,1	-4,3	57,0	-3,2	-8,6	27,9	14,7	22,3
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	52,4	-23,3	-5,7	50,1	-2,0	7,3	55,8	-20,8	-5,0	67,0	-2,6	-5,2	30,3	14,3	22,9
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	270°	průměr	48,9	-20,6	-5,2	51,6	-2,0	7,5	52,6	-18,0	-4,3	57,3	-3,2	-8,6	28,1	14,8	22,4
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	52,7	-23,4	-5,7	50,1	-2,0	7,3	55,0	-20,7	-5,0	66,7	-2,6	-5,2	30,1	14,3	22,7
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
průměr hodnot naměřených v Φ			51,1	-22,3	-5,5	50,6	-2,0	7,3	54,4	-19,7	-4,7	62,9	-2,8	-6,6	29,4	14,5	22,7
směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ			1,9	1,4	0,3	0,7	0,0	0,1	1,4	1,3	0,3	4,7	0,3	1,6	1,2	0,2	0,3
10°	0°	průměr	53,6	-22,9	-5,6	52,6	-2,0	7,0	56,8	-20,1	-4,8	67,6	-2,5	-5,1	32,6	13,8	23,0
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	50,8	-20,9	-5,3	53,3	-2,1	7,2	55,3	-18,2	-4,4	60,7	-3,1	-7,3	30,6	14,2	22,6
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	54,0	-23,0	-5,7	52,6	-2,0	7,1	56,9	-20,1	-4,8	68,0	-2,5	-5,0	33,2	13,8	23,1
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	270°	průměr	50,7	-20,9	-5,3	53,2	-2,0	7,3	55,0	-18,1	-4,3	60,1	-3,1	-7,4	30,6	14,3	22,6
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	53,3	-22,8	-5,6	52,2	-2,0	7,0	56,7	-20,0	-4,8	67,6	-2,5	-5,1	32,6	13,8	23,0
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
průměr hodnot naměřených v Φ			52,5	-22,1	-5,5	52,8	-2,0	7,1	56,1	-19,3	-4,6	64,8	-2,7	-6,0	31,9	14,0	22,8
směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ			1,4	1,0	0,2	0,4	0,0	0,1	0,8	0,9	0,2	3,6	0,3	1,1	1,1	0,2	0,2
20°	0°	průměr	57,7	-20,4	-5,1	58,9	-1,9	6,1	60,9	-17,8	-4,2	69,6	-2,3	-4,7	39,2	12,2	22,3
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	57,0	-20,3	-5,2	58,7	-1,9	6,1	60,3	-17,3	-4,1	68,3	-2,6	-5,4	37,5	12,3	21,9
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
	180°	průměr	58,4	-20,5	-5,2	59,1	-1,9	6,1	60,9	-17,9	-4,2	69,7	-2,3	-4,7	39,4	12,2	22,3
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	270°	průměr	56,6	-20,4	-5,2	58,3	-1,9	6,3	60,1	-17,4	-4,1	68,1	-2,6	-5,4	37,6	12,3	21,8
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
	0°R	průměr	58,0	-20,4	-5,1	59,2	-1,8	6,0	61,4	-17,8	-4,2	69,5	-2,3	-4,7	39,3	12,2	22,3
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
průměr hodnot naměřených v Φ			57,6	-20,4	-5,1	58,8	-1,9	6,1	60,7	-17,6	-4,2	69,0	-2,4	-5,0	38,6	12,3	22,1
směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ			0,7	0,1	0,1	0,3	0,0	0,1	0,5	0,2	0,1	0,7	0,1	0,4	0,9	0,1	0,2
30°	0°	průměr	71,3	-12,7	-2,8	65,2	-1,6	5,2	63,0	-16,1	-3,7	70,4	-2,2	-4,2	44,2	10,6	20,6
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	72,6	-12,9	-2,9	65,6	-1,7	5,0	63,7	-16,2	-3,8	72,5	-2,4	-4,2	44,3	10,4	20,2
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	71,9	-12,7	-2,8	65,5	-1,7	5,2	64,0	-16,0	-3,7	70,3	-2,3	-4,2	44,0	10,5	20,5
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	270°	průměr	72,6	-12,8	-2,9	65,2	-1,7	5,0	63,5	-16,2	-3,8	72,6	-2,4	-4,2	44,8	10,4	20,3
		směrodatná odchylka	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	71,0	-12,8	-2,8	65,2	-1,7	5,2	63,2	-16,0	-3,7	70,1	-2,3	-4,2	43,8	10,6	20,5
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
průměr hodnot naměřených v Φ			71,9	-12,8	-2,9	65,3	-1,7	5,1	63,5	-16,1	-3,7	71,2	-2,3	-4,2	44,2	10,5	20,4
směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ			0,6	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,3	0,1	0,0	1,1	0,1	0,0	0,3	0,1	0,2
40°	0°	průměr	58,0	-19,8	-5,1	57,4	-2,0	6,3	60,2	-17,4	-4,2	69,0	-2,5	-4,4	39,1	11,8	21,8
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	57,3	-20,2	-5,4	57,6	-2,0	5,7	59,8	-17,2	-4,2	68,0	-2,6	-5,2	38,5	11,8	21,6
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	58,4	-19,8	-5,1	57,8	-2,0	6,2	60,9	-17,3	-4,1	69,0	-2,3	-4,4	38,4	11,8	21,7
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	270°	průměr	58,2	-19,8	-5,2	57,4	-2,0	5,6	59,6	-17,2	-4,1	67,8	-2,6	-5,1	38,8	11,8	21,7
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	58,5	-19,7	-5,0	57,5	-2,0	6,3	60,6	-17,5	-4,2	68,6	-2,3	-4,5	38,8	11,8	21,7
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
průměr hodnot naměřených v Φ			58,1	-19,9	-5,1	57,5	-2,0	6,0	60,2	-17,3	-4,2	68,5	-2,5	-4,7	38,7	11,8	21,7
směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ			0,4	0,2	0,1	0,2	0,0	0,3	0,5	0,1	0,0	0,5	0,1	0,3	0,2	0,0	0,1

Úhel naklonění v horizontální ose	Φ		APOLLO 3			TOPAS 1			TOPAS 2			TOPAS 3		
			L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0°	0°	průměr	53,6	-4,9	-16,5	71,8	-0,5	-1,6	68,1	-0,4	-1,6	69,5	-0,2	-1,8
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	48,9	-4,8	-18,2	71,3	-0,6	-1,6	68,3	-0,4	-1,5	66,8	-0,4	-2,2
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	53,4	-4,8	-16,5	71,8	-0,5	-1,6	68,5	-0,4	-1,5	69,3	-0,2	-1,8
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	270°	průměr	48,5	-4,8	-18,2	71,2	-0,5	-1,6	68,6	-0,4	-1,5	67,2	-0,4	-2,2
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	53,3	-4,9	-16,5	71,4	-0,5	-1,6	68,5	-0,5	-1,6	69,8	-0,2	-1,7
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
průměr hodnot naměřených v Φ			51,5	-4,8	-17,2	71,5	-0,5	-1,6	68,4	-0,4	-1,5	68,5	-0,3	-1,9
směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ			2,3	0,0	0,9	0,3	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	1,3	0,1	0,2
10°	0°	průměr	54,9	-5,0	-15,8	72,1	-0,5	-1,5	69,3	-0,5	-1,3	70,5	-0,3	-1,7
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	50,8	-5,0	-17,4	71,8	-0,5	-1,5	70,4	-0,4	-1,3	68,6	-0,4	-2,0
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	54,7	-5,0	-15,8	72,4	-0,5	-1,5	69,6	-0,5	-1,4	71,0	-0,3	-1,7
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	270°	průměr	50,7	-4,9	-17,5	71,6	-0,5	-1,5	69,6	-0,4	-1,3	68,3	-0,4	-2,0
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	54,6	-5,0	-15,8	72,0	-0,5	-1,5	69,3	-0,5	-1,4	70,6	-0,3	-1,7
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
průměr hodnot naměřených v Φ			53,1	-5,0	-16,5	72,0	-0,5	-1,5	69,6	-0,5	-1,3	69,8	-0,3	-1,8
směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ			2,0	0,0	0,8	0,3	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	1,1	0,1	0,1
20°	0°	průměr	60,2	-4,6	-13,5	75,7	-0,6	-1,0	73,1	-0,5	-0,8	73,7	-0,5	-1,3
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	57,2	-4,8	-14,6	75,1	-0,7	-1,0	72,9	-0,5	-0,8	73,9	-0,6	-1,4
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	60,1	-4,6	-13,6	75,7	-0,6	-1,0	73,0	-0,5	-0,9	74,1	-0,5	-1,3
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	270°	průměr	57,7	-4,8	-14,7	74,6	-0,6	-1,0	72,9	-0,4	-0,8	73,3	-0,6	-1,4
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	59,7	-4,5	-13,4	75,0	-0,7	-1,0	72,9	-0,5	-0,8	73,4	-0,5	-1,3
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
průměr hodnot naměřených v Φ			59,0	-4,6	-14,0	75,2	-0,6	-1,0	73,0	-0,5	-0,8	73,7	-0,6	-1,3
směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ			1,3	0,1	0,6	0,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,1	0,1
30°	0°	průměr	74,2	-3,3	-7,8	80,9	-0,8	-0,5	78,0	-0,8	-0,4	77,8	-0,6	-0,9
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	78,0	-3,1	-6,8	81,9	-0,8	-0,4	77,8	-0,9	-0,3	78,8	-0,6	-0,8
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	74,2	-3,3	-7,8	81,1	-0,8	-0,5	78,2	-0,8	-0,4	77,9	-0,5	-0,9
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
	270°	průměr	77,5	-3,1	-7,0	81,8	-0,8	-0,4	77,9	-0,8	-0,3	78,5	-0,6	-0,8
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	74,2	-3,3	-7,8	80,8	-0,8	-0,5	78,4	-0,8	-0,4	77,5	-0,5	-0,9
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
průměr hodnot naměřených v Φ			75,6	-3,2	-7,5	81,3	-0,8	-0,4	78,1	-0,8	-0,3	78,1	-0,6	-0,9
směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ			1,7	0,1	0,4	0,5	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,5	0,0	0,1
40°	0°	průměr	59,4	-4,7	-13,4	74,5	-0,8	-1,0	72,4	-0,7	-0,7	72,6	-0,5	-1,3
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	57,5	-4,9	-14,3	74,2	-0,8	-0,9	72,5	-0,7	-0,7	73,0	-0,5	-1,5
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	59,7	-4,7	-13,4	74,5	-0,8	-1,0	73,4	-0,7	-0,8	73,0	-0,5	-1,4
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	270°	průměr	57,7	-4,9	-14,4	74,3	-0,8	-0,9	72,9	-0,7	-0,7	73,0	-0,5	-1,4
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	59,1	-4,7	-13,3	73,4	-0,7	-1,1	72,7	-0,7	-0,8	72,6	-0,5	-1,3
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
průměr hodnot naměřených v Φ			58,7	-4,8	-13,8	74,2	-0,8	-1,0	72,8	-0,7	-0,7	72,9	-0,5	-1,4
směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ			0,9	0,1	0,5	0,4	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0



Tabulka 27. Naměřené kolorimetrické hodnoty L^* , a^* , b^* , obrazovou analýzou při natáčení vzorků v úhlech Φ a v horizontální ose strukturních vzorků

Úhel naklonění v horizontální ose	Φ		D393 VZOR			3500			4001			1320		
			L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
0°	0°	průměr	32,6	3,4	8,0	56,3	-1,4	0,3	68,0	-1,4	5,6	51,8	11,7	41,6
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	33,4	3,2	8,0	38,8	-1,7	-0,6	67,1	-1,4	5,9	55,7	9,2	41,2
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	32,0	3,4	7,9	57,2	-1,3	0,3	68,2	-1,4	5,6	52,0	11,6	41,6
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	270°	průměr	33,2	3,2	8,0	39,4	-1,7	-0,6	67,5	-1,4	5,9	55,9	9,2	41,2
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	32,7	3,4	8,0	56,6	-1,3	0,3	68,1	-1,4	5,6	51,2	11,7	41,4
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
průměr hodnot naměřených v Φ			32,8	3,3	8,0	49,6	-1,5	-0,1	67,8	-1,4	5,7	53,3	10,7	41,4
směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ			0,5	0,1	0,0	8,6	0,2	0,5	0,4	0,0	0,1	2,0	1,2	0,2
10°	0°	průměr	33,4	3,1	7,8	60,2	-1,4	0,2	69,8	-1,4	5,0	53,7	10,6	41,7
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	34,6	2,9	8,0	48,4	-1,6	-0,5	69,3	-1,4	5,1	56,6	8,4	41,2
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	33,6	3,0	8,0	61,4	-1,3	0,2	70,6	-1,5	4,8	52,8	10,9	41,6
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	270°	průměr	34,1	2,9	8,0	43,7	-1,7	-0,5	69,2	-1,4	5,3	57,4	8,3	41,4
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	33,6	3,1	7,8	60,8	-1,3	0,2	69,1	-1,5	5,1	53,0	10,6	41,5
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
průměr hodnot naměřených v Φ			33,9	3,0	7,9	54,9	-1,5	-0,1	69,6	-1,4	5,1	54,7	9,8	41,5
směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ			0,4	0,1	0,1	7,4	0,1	0,3	0,6	0,0	0,2	1,9	1,2	0,2
20°	0°	průměr	37,2	2,3	7,8	72,9	-1,3	0,3	74,6	-1,6	3,6	58,4	8,0	41,2
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	37,5	2,2	7,9	70,4	-1,3	0,2	75,8	-1,6	3,4	60,6	6,4	40,9
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	36,6	2,2	7,9	73,5	-1,3	0,3	75,6	-1,6	3,3	57,0	8,4	41,2
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
	270°	průměr	36,7	2,2	7,9	64,9	-1,5	0,1	74,3	-1,6	3,7	60,7	6,4	41,0
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	37,1	2,3	7,8	73,0	-1,3	0,3	74,8	-1,6	3,6	58,5	8,0	41,3
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
průměr hodnot naměřených v Φ			37,0	2,2	7,9	70,9	-1,4	0,2	75,0	-1,6	3,5	59,1	7,5	41,1
směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ			0,3	0,1	0,1	3,2	0,1	0,1	0,6	0,0	0,1	1,4	0,9	0,1
30°	0°	průměr	39,3	1,4	7,7	78,5	-1,1	0,5	78,4	-1,7	2,4	61,2	6,4	40,2
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	39,7	1,5	7,5	80,6	-1,1	0,4	78,5	-1,7	2,4	61,5	5,7	39,8
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	40,2	1,5	7,7	79,0	-1,1	0,6	78,8	-1,7	2,4	60,5	6,5	40,1
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	270°	průměr	39,7	1,5	7,7	79,2	-1,1	0,5	78,8	-1,7	2,4	61,4	5,8	39,8
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	39,6	1,5	7,6	78,7	-1,1	0,5	78,5	-1,7	2,4	60,6	6,5	40,1
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
průměr hodnot naměřených v Φ			39,7	1,5	7,6	79,2	-1,1	0,5	78,6	-1,7	2,4	61,0	6,2	40,0
směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ			0,3	0,0	0,1	0,7	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,4	0,4	0,2
40°	0°	průměr	36,2	1,6	7,6	71,4	-1,3	0,0	75,1	-1,6	2,6	56,8	7,1	40,1
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	36,8	1,6	7,6	68,5	-1,4	-0,3	73,2	-1,7	3,0	57,8	6,4	39,6
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	36,4	1,5	7,6	72,6	-1,3	0,1	74,3	-1,7	2,8	57,8	6,8	40,1
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	270°	průměr	36,8	1,5	7,7	72,0	-1,3	-0,1	75,4	-1,6	2,6	57,6	6,4	39,5
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	36,1	1,6	7,6	71,6	-1,3	0,0	74,7	-1,7	2,6	57,1	7,1	40,1
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
průměr hodnot naměřených v Φ			36,5	1,6	7,6	71,2	-1,3	0,0	74,5	-1,6	2,7	57,4	6,8	39,9
směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ			0,3	0,0	0,0	1,4	0,0	0,2	0,8	0,0	0,1	0,4	0,3	0,3



Úhel nклонění v horizontální ose	Φ		9355			E001			D393			9350			
			L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
0°	0°	průměr	59,9	-3,4	25,8	74,7	-1,3	1,3	25,4	4,1	9,6	34,9	17,9	22,0	
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	90°	průměr	37,6	-1,8	22,8	75,8	-1,3	1,3	24,0	4,3	9,4	34,5	17,8	21,7	
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	180°	průměr	59,2	-3,3	25,8	74,9	-1,3	1,3	25,2	4,0	9,5	34,2	17,8	21,9	
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	270°	průměr	38,0	-1,9	22,9	75,5	-1,3	1,3	23,7	4,3	9,3	34,0	17,7	21,6	
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	0°R	průměr	59,8	-3,4	25,9	74,5	-1,3	1,3	25,3	4,1	9,5	34,5	17,9	21,9	
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	průměr hodnot naměřených v Φ			50,9	-2,8	24,6	75,1	-1,3	1,3	24,7	4,2	9,5	34,4	17,8	21,8
	směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ			10,7	0,7	1,5	0,5	0,0	0,0	0,7	0,1	0,1	0,3	0,1	0,2
10°	0°	průměr	56,6	-3,3	25,8	75,4	-1,3	1,2	25,8	3,9	9,4	39,6	17,9	22,7	
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	90°	průměr	42,3	-2,2	23,7	75,9	-1,3	1,2	24,6	4,1	9,3	40,1	17,8	22,5	
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	180°	průměr	62,7	-3,5	25,9	74,8	-1,3	1,3	25,7	3,9	9,4	40,7	18,0	22,9	
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	270°	průměr	44,5	-2,4	24,0	75,8	-1,3	1,2	24,5	4,1	9,2	39,6	17,8	22,4	
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	
	0°R	průměr	56,2	-3,3	25,8	75,2	-1,3	1,2	25,4	3,9	9,4	40,1	17,9	22,8	
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	průměr hodnot naměřených v Φ			52,5	-2,9	25,0	75,4	-1,3	1,2	25,2	4,0	9,4	40,0	17,9	22,7
	směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ			7,8	0,5	1,0	0,4	0,0	0,0	0,6	0,1	0,1	0,4	0,1	0,2
20°	0°	průměr	58,7	-3,4	25,6	75,4	-1,3	1,0	27,2	3,5	9,1	56,1	16,8	24,2	
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	90°	průměr	56,7	-3,2	25,5	75,3	-1,4	1,1	26,2	3,6	9,1	56,8	16,6	24,0	
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	
	180°	průměr	65,3	-3,7	25,9	74,5	-1,4	1,1	27,0	3,3	9,2	57,4	16,5	24,0	
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	
	270°	průměr	59,3	-3,4	25,6	75,1	-1,4	1,1	26,3	3,6	9,1	55,3	16,7	23,8	
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	
	0°R	průměr	58,6	-3,4	25,6	75,5	-1,3	1,1	26,7	3,5	9,0	55,5	16,8	24,2	
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	průměr hodnot naměřených v Φ			59,7	-3,4	25,6	75,2	-1,3	1,1	26,7	3,5	9,1	56,2	16,7	24,0
	směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ			2,9	0,2	0,1	0,3	0,0	0,0	0,4	0,1	0,1	0,8	0,1	0,1
30°	0°	průměr	63,1	-3,6	25,5	75,7	-1,4	0,8	30,2	2,7	8,6	63,9	15,5	24,1	
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	90°	průměr	65,3	-3,6	25,9	74,9	-1,4	0,8	30,3	2,6	8,7	65,2	15,4	24,0	
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	
	180°	průměr	64,1	-3,7	25,5	75,1	-1,4	0,8	30,0	2,6	8,7	65,2	15,4	23,8	
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	
	270°	průměr	67,2	-3,7	25,7	74,9	-1,4	0,9	30,8	2,7	8,8	65,2	15,4	23,9	
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	
	0°R	průměr	62,9	-3,6	25,5	75,4	-1,4	0,8	30,2	2,6	8,7	64,1	15,5	24,1	
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	průměr hodnot naměřených v Φ			64,5	-3,6	25,6	75,2	-1,4	0,8	30,3	2,7	8,7	64,7	15,4	24,0
	směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ			1,6	0,0	0,2	0,3	0,0	0,0	0,3	0,0	0,1	0,6	0,1	0,1
40°	0°	průměr	66,0	-3,8	25,7	73,0	-1,3	1,0	26,6	2,8	8,6	59,3	16,1	24,2	
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	90°	průměr	60,7	-3,8	26,0	72,8	-1,3	1,0	26,0	2,9	8,5	59,0	16,0	24,1	
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	180°	průměr	61,1	-3,6	25,4	72,8	-1,4	1,0	26,5	2,8	8,6	60,1	15,9	24,0	
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	
	270°	průměr	61,0	-3,9	25,8	72,6	-1,3	1,0	26,4	2,9	8,8	59,7	16,0	24,1	
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	0°R	průměr	66,5	-3,8	25,7	72,8	-1,3	1,0	26,8	2,8	8,6	58,8	16,1	24,2	
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	průměr hodnot naměřených v Φ			63,0	-3,8	25,7	72,8	-1,3	1,0	26,5	2,8	8,6	59,4	16,0	24,1
	směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ			2,6	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,3	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1

Tabulka 28. Naměřené kolorimetrické hodnoty L^* , a^* , b^* , obrazovou analýzou při natáčení vzorků v úhlech Φ a v horizontální ose u vzorků s jemným homogenním povrchem

Úhel naklonění v horizontální ose	Φ	5000			3500			2001			2000			E001			
		L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	
0°	0°	průměr	23,3	-1,8	-1,0	22,8	-1,8	-1,5	67,5	-1,7	4,1	31,4	-1,8	-0,7	70,2	-1,1	3,2
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	23,4	-1,9	-1,0	22,2	-1,8	-1,4	66,7	-1,7	4,2	31,4	-1,8	-0,7	70,4	-1,1	3,2
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	23,8	-1,8	-1,0	22,8	-1,8	-1,4	67,1	-1,7	4,1	31,5	-1,8	-0,7	70,2	-1,1	3,3
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	270°	průměr	23,0	-1,8	-1,0	22,3	-1,8	-1,4	66,7	-1,7	4,1	31,5	-1,7	-0,8	70,0	-1,1	3,3
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	23,5	-1,8	-1,0	22,4	-1,8	-1,4	67,2	-1,7	4,1	31,7	-1,8	-0,7	69,6	-1,1	3,3
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	průměr hodnot naměřených v Φ		23,4	-1,8	-1,0	22,5	-1,8	-1,4	67,0	-1,7	4,1	31,5	-1,7	-0,7	70,1	-1,1	3,3
směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ		0,3	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	
10°	0°	průměr	32,9	-2,2	-1,4	33,6	-2,3	-1,6	69,7	-1,8	3,4	43,8	-1,9	-0,7	71,0	-1,1	2,8
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	31,0	-2,2	-1,3	32,1	-2,3	-1,6	69,3	-1,7	3,4	44,6	-2,0	-0,7	71,3	-1,2	2,8
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	32,8	-2,3	-1,4	33,3	-2,2	-1,7	69,3	-1,8	3,5	45,0	-1,9	-0,7	70,6	-1,1	2,8
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	270°	průměr	33,9	-2,3	-1,4	33,3	-2,3	-1,7	69,1	-1,7	3,5	44,4	-1,9	-0,8	70,5	-1,2	3,0
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	32,9	-2,3	-1,3	33,2	-2,2	-1,7	69,9	-1,8	3,4	44,1	-1,9	-0,8	71,2	-1,1	2,8
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	průměr hodnot naměřených v Φ		32,7	-2,3	-1,4	33,1	-2,2	-1,6	69,5	-1,7	3,4	44,4	-1,9	-0,7	70,9	-1,2	2,9
směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ		0,9	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,3	0,0	0,1	
20°	0°	průměr	75,1	-1,5	-0,5	76,8	-1,5	0,1	83,2	-1,6	1,5	78,6	-1,8	0,3	76,4	-1,6	0,6
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	72,3	-1,6	-0,7	76,4	-1,6	0,0	82,5	-1,6	1,4	79,3	-1,8	0,3	77,1	-1,6	0,5
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
	180°	průměr	74,4	-1,5	-0,6	76,7	-1,6	0,0	82,3	-1,7	1,5	79,0	-1,8	0,3	75,2	-1,6	0,8
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	270°	průměr	76,9	-1,4	-0,4	78,6	-1,5	0,2	82,6	-1,7	1,4	78,4	-1,8	0,2	76,8	-1,6	0,6
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	74,6	-1,5	-0,6	77,1	-1,5	0,1	82,6	-1,6	1,5	78,7	-1,8	0,3	76,7	-1,6	0,6
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	průměr hodnot naměřených v Φ		74,7	-1,5	-0,6	77,1	-1,5	0,1	82,6	-1,6	1,5	78,8	-1,8	0,3	76,4	-1,6	0,6
směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ		1,4	0,1	0,1	0,8	0,0	0,0	0,3	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	0,7	0,0	0,1	
30°	0°	průměr	99,9	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	94,0	-1,3	1,1	97,9	-1,1	1,0	97,5	-1,1	-0,5
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	99,8	0,0	0,1	100,0	0,0	0,0	94,4	-1,2	1,2	98,2	-1,0	1,0	95,8	-1,5	-1,0
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	99,8	0,0	0,1	100,0	0,0	0,0	93,9	-1,3	1,1	97,9	-1,1	1,1	97,3	-1,1	-0,6
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	270°	průměr	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	94,4	-1,2	1,2	98,3	-0,9	1,0	95,8	-1,5	-0,9
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	99,9	0,0	0,1	100,0	0,0	0,0	93,8	-1,3	1,1	98,0	-1,0	1,0	97,3	-1,1	-0,6
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	průměr hodnot naměřených v Φ		99,9	0,0	0,1	100,0	0,0	0,0	94,1	-1,3	1,2	98,1	-1,0	1,0	96,7	-1,3	-0,7
směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ		0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,8	0,2	0,2	
40°	0°	průměr	79,4	-1,7	-1,0	80,4	-1,7	-0,7	83,2	-2,0	0,9	81,6	-1,9	-0,4	74,7	-1,8	0,3
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	80,5	-1,6	-0,9	81,4	-1,7	-0,7	81,8	-2,1	0,8	81,3	-1,9	-0,5	75,5	-1,7	0,0
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	78,7	-1,7	-1,0	80,3	-1,7	-0,7	82,9	-2,0	1,0	81,5	-1,9	-0,4	75,3	-1,8	-0,1
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	270°	průměr	76,8	-1,8	-1,2	79,4	-1,7	-0,8	82,7	-2,0	0,8	81,7	-1,9	-0,4	76,6	-1,8	-0,1
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	79,1	-1,7	-1,0	80,8	-1,7	-0,7	82,8	-2,0	0,9	81,4	-1,9	-0,4	74,7	-1,8	0,2
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	průměr hodnot naměřených v Φ		78,9	-1,7	-1,0	80,4	-1,7	-0,7	82,7	-2,0	0,9	81,5	-1,9	-0,4	75,3	-1,8	0,0
směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Φ		1,2	0,1	0,1	0,7	0,0	0,1	0,5	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,7	0,0	0,2	



Úhel naklonění v horizontální ose	Ø	1700			4001			1542			1502			1320			
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
		průměr	směrodatná odchylka		průměr	směrodatná odchylka		průměr	směrodatná odchylka		průměr	směrodatná odchylka		průměr	směrodatná odchylka		
0°	0°	průměr	25,4	1,8	18,9	67,3	-1,1	4,6	16,0	28,3	18,9	20,5	22,4	23,0	48,4	10,6	40,4
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	24,8	1,8	18,7	67,9	-1,1	4,6	15,9	28,2	18,8	21,4	22,7	23,7	49,0	10,5	40,4
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	25,3	1,8	18,9	67,8	-1,1	4,6	16,0	28,2	18,8	20,2	22,2	22,8	48,3	10,6	40,4
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	270°	průměr	24,7	1,7	18,7	68,1	-1,1	4,6	15,8	28,0	18,6	21,1	22,4	23,4	48,8	10,5	40,4
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	25,0	1,8	18,8	67,8	-1,1	4,6	15,9	28,2	18,8	20,3	22,3	23,0	48,7	10,7	40,5
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	průměr hodnot naměřených v Ø		25,1	1,8	18,8	67,8	-1,1	4,6	15,9	28,2	18,8	20,7	22,4	23,2	48,6	10,6	40,4
	směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Ø		0,3	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,5	0,2	0,3	0,2	0,0	0,0
10°	0°	průměr	38,5	0,7	23,1	68,8	-1,4	4,2	22,1	32,5	20,9	31,1	21,2	26,7	53,1	8,7	40,3
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	37,9	0,8	22,9	69,0	-1,4	4,1	21,9	32,3	21,0	32,0	21,1	27,0	53,6	8,5	40,4
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	39,6	0,6	23,5	69,3	-1,4	4,1	21,4	32,0	20,7	30,4	21,5	26,5	52,7	8,9	40,3
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	270°	průměr	39,9	0,6	23,6	69,0	-1,4	4,1	21,0	31,7	20,8	32,2	21,1	27,1	53,4	8,7	40,4
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	38,1	0,7	23,1	68,4	-1,4	4,2	22,2	32,6	21,0	31,1	21,3	26,7	53,4	8,7	40,4
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	průměr hodnot naměřených v Ø		38,8	0,7	23,3	68,9	-1,4	4,1	21,7	32,2	20,9	31,4	21,2	26,8	53,2	8,7	40,4
	směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Ø		0,8	0,1	0,3	0,3	0,0	0,1	0,4	0,3	0,1	0,6	0,1	0,2	0,3	0,1	0,0
20°	0°	průměr	75,9	-1,5	29,0	78,9	-1,7	1,9	49,7	41,8	18,9	67,5	11,4	30,2	72,3	2,1	41,0
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	76,4	-1,5	29,0	79,2	-1,8	1,8	50,4	42,3	18,8	66,4	11,8	30,0	72,9	2,2	40,9
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
	180°	průměr	77,9	-1,4	28,9	80,0	-1,8	1,6	48,4	41,6	19,1	65,7	11,9	30,4	71,8	2,3	41,1
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
	270°	průměr	77,5	-1,5	29,0	80,3	-1,8	1,6	44,7	41,6	19,9	66,4	11,8	29,9	72,1	2,4	40,9
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
	0°R	průměr	76,3	-1,5	28,9	78,5	-1,8	1,9	46,8	41,5	19,5	67,5	11,4	30,2	72,8	2,1	41,0
		směrodatná odchylka	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	průměr hodnot naměřených v Ø		76,8	-1,5	29,0	79,4	-1,8	1,8	48,0	41,7	19,3	66,7	11,7	30,1	72,4	2,2	41,0
	směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Ø		0,8	0,0	0,0	0,7	0,0	0,1	2,0	0,3	0,4	0,7	0,2	0,2	0,4	0,1	0,1
30°	0°	průměr	92,2	-2,2	28,5	95,5	-2,0	0,5	70,8	39,9	14,4	88,3	5,4	27,3	86,1	-0,7	40,5
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	92,3	-2,2	28,5	95,2	-2,0	0,4	70,7	39,8	14,3	88,2	5,6	27,4	85,9	-0,6	40,5
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	92,5	-2,3	28,4	95,6	-2,0	0,4	70,5	39,9	14,4	88,3	5,4	27,3	86,3	-0,7	40,5
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	270°	průměr	92,4	-2,2	28,5	95,2	-2,1	0,3	70,9	39,3	14,0	88,0	5,8	27,5	85,5	-0,6	40,6
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	92,1	-2,2	28,6	95,4	-2,1	0,9	70,9	39,8	14,3	88,2	5,5	27,3	86,2	-0,7	40,5
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	průměr hodnot naměřených v Ø		92,3	-2,2	28,5	92,4	-2,0	0,5	70,8	39,7	14,3	88,2	5,5	27,3	86,0	-0,7	40,5
	směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Ø		0,1	0,0	0,0	6,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,0	0,0
40°	0°	průměr	79,5	-1,3	27,8	80,4	-2,1	0,9	48,3	41,9	19,0	66,1	11,3	30,2	72,2	1,3	39,7
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	90°	průměr	79,7	-1,3	27,8	79,8	-2,1	1,0	47,8	41,8	19,1	67,1	11,1	30,0	73,4	1,2	39,6
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	180°	průměr	78,3	-1,2	27,6	78,6	-2,0	1,2	49,3	41,9	18,7	68,0	10,8	30,1	74,0	1,1	39,7
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	270°	průměr	78,4	-1,2	27,7	79,8	-2,0	1,1	49,6	42,0	18,7	67,2	11,1	30,0	73,1	1,2	39,7
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0°R	průměr	79,7	-1,3	27,8	81,0	-2,1	0,9	48,4	41,9	19,0	65,8	11,3	30,2	72,9	1,2	39,7
		směrodatná odchylka	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	průměr hodnot naměřených v Ø		79,1	-1,3	27,7	79,9	-2,0	1,0	48,7	41,9	18,9	66,8	11,1	30,1	73,1	1,2	39,7
	směrodatná odchylka z hodnot naměřených v Ø		0,6	0,0	0,1	0,8	0,0	0,1	0,7	0,0	0,2	0,8	0,2	0,1	0,6	0,0	0,0



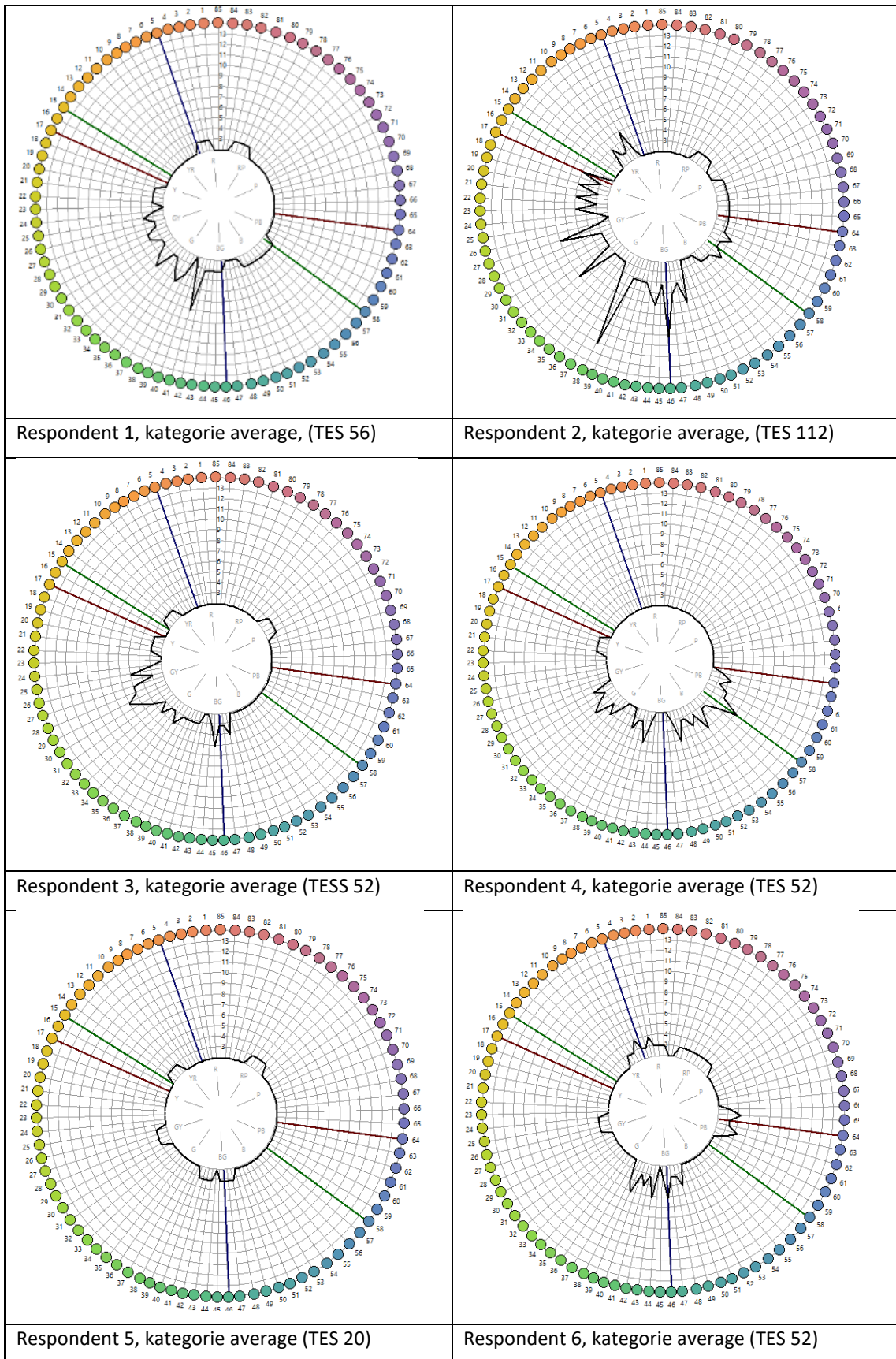
Příloha 6: Výsledky naměřených kolorimetrických hodnot
 L^* , a^* , b^* spektrofotometry a obrazovou analýzou

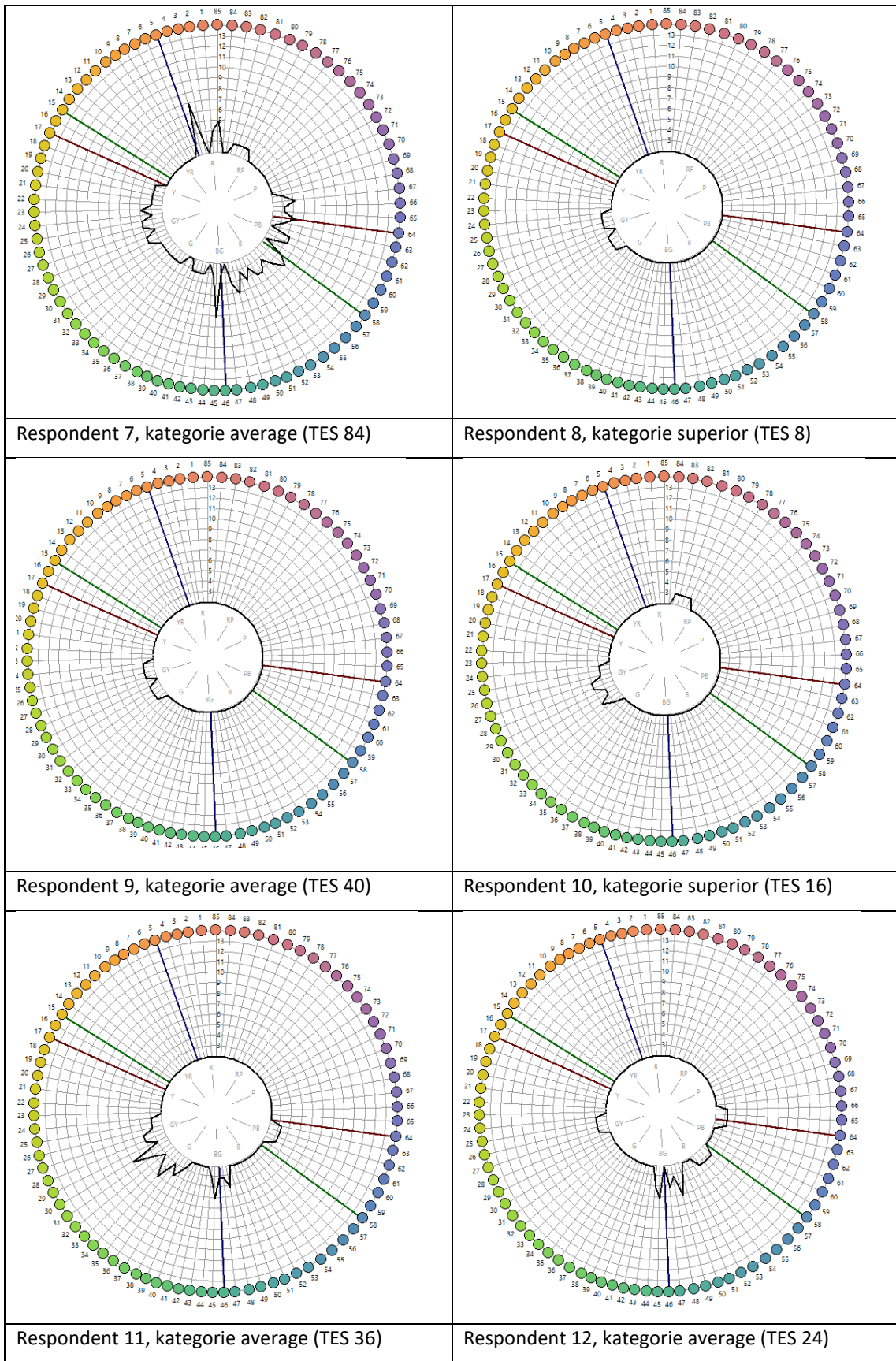
Tabulka 29. Výsledky naměřených kolorimetrických hodnot L^ , a^* , b^* spektrofotometry a obrazovou analýzou*

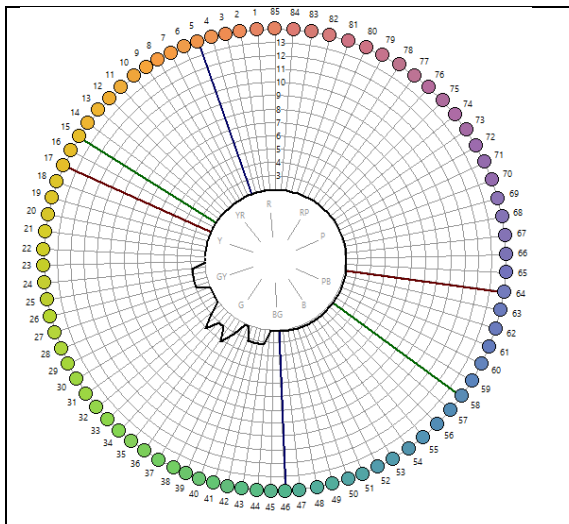
Název vzorku	di			de			45°:0°			OA D65		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
Tibet 1 zelená	66,7	-35,2	-2,7	65,0	-36,8	-2,9	63,0	-36,4	-2,8	62,6	-30,4	-6,9
Tibet 1 bílá	74,4	-17,9	-1,1	72,9	-18,8	-1,3	72,3	-17,1	-0,9	66,9	-18,1	-3,2
Tibet 2 střed	64,8	-0,5	0,6	63,8	-0,6	0,3	62,4	-0,7	0,4	56,0	-2,8	1,3
Tibet 2 pruh 1	74,7	0,6	8,4	74,4	0,6	8,2	72,6	0,7	8,7	65,7	-1,5	7,9
Tibet 2 pruh 2	68,6	-0,3	3,2	68,1	-0,3	3,1	66,0	-0,3	3,1	60,0	-2,5	3,9
Tibet 2 pruh 3	74,8	0,6	8,2	74,4	0,6	8,2	72,7	0,7	8,7	65,5	-1,7	7,8
Tibet 2 pruh 4	70,8	0,3	6,3	70,1	0,2	6,2	68,8	0,4	6,6	61,4	-2,4	6,9
Tibet 3	69,4	-28,8	-2,1	69,4	-28,6	-2,3	68,0	-26,9	-2,1	65,9	-21,8	-4,5
Apollo 1 podklad	83,3	-2,2	-10,0	83,1	-2,2	-10,3	79,5	-2,3	-8,7	72,5	-5,4	-5,4
Apollo 2 střed	57,8	12,3	20,3	58,3	11,8	19,5	46,9	10,5	19,1	42,3	12,5	16,5
Apollo 2 roh	54,4	12,4	20,9	54,1	12,4	21,0	52,0	12,2	21,4	42,7	13,5	17,6
Apollo 3 podklad	72,2	-4,8	-19,4	70,4	-4,9	-20,3	68,0	-5,3	-18,4	64,8	-9,6	-13,4
Apollo 3 vzor X	70,7	-4,8	-21,2	67,9	-5,0	-22,7	67,2	-5,4	-20,4	61,4	-10,5	-17,1
Topas 1	94,0	3,1	-8,1	93,5	3,3	-8,9	87,6	1,9	-7,1	77,6	-3,2	0,7
Topas 2 podklad	93,8	3,3	-8,4	93,2	3,5	-9,2	87,0	1,9	-6,9	78,5	-3,1	0,5
Topas 2 vzor	93,8	3,4	-8,7	93,4	3,6	-9,5	87,0	2,0	-7,3	78,5	-3,3	0,7
Topas 3	93,9	3,8	-10,3	93,6	4,1	-11,3	87,3	2,2	-8,4	77,6	-3,2	0,4
Strukturální D393 vzor bílá	89,3	1,8	9,4	89,1	1,8	9,0	87,8	1,2	9,5	77,7	-1,1	6,9
Strukturální D393 vzor hnědá	50,1	4,5	8,4	49,9	4,5	8,2	49,1	4,5	8,7	40,2	3,9	6,6
Strukturální 3500 pruh	83,3	-0,3	-1,9	81,2	-0,3	-2,2	72,1	-0,4	-1,8	70,7	-3,6	0,1
Strukturální 4001	91,8	0,3	5,3	89,5	0,5	5,6	86,6	-0,1	5,0	77,9	-2,3	4,6
Strukturální 1320	73,6	12,1	48,2	73,4	12,1	48,1	69,5	11,4	45,9	64,0	11,7	39,4
Strukturální 9355	73,6	0,0	31,1	73,0	0,0	30,6	73,1	0,3	31,3	63,1	-1,0	25,6
Strukturální E001 bílá	94,9	0,0	0,6	95,1	0,1	0,1	93,7	-0,4	0,6	81,7	-3,0	2,9
Strukturální E001 černá	32,1	0,3	-0,7	21,5	0,8	-0,3	16,2	1,5	1,5	20,9	-0,2	-2,6
Strukturální D393 jednobarevný	45,3	4,9	9,8	45,3	5,0	9,8	43,6	5,1	10,0	35,3	4,8	7,1
Strukturální 9350 hladký	66,7	18,1	25,8	65,4	17,9	25,3	63,8	17,7	25,3	52,4	19,5	22,1
Strukturální 9350 hrubá	65,3	18,3	25,5	64,2	18,1	25,2	63,7	18,1	25,4	53,7	19,7	22,1
Jemný 2000	87,1	-0,7	-1,1	80,6	-0,8	-1,6	66,3	-1,0	-1,8	68,3	-3,8	-0,1
Jemný E001	96,2	-0,3	-0,3	91,8	0,1	-0,1	88,2	0,6	1,6	80,8	-2,7	2,9
Jemný 1700	79,9	3,1	33,4	75,9	2,9	31,6	63,7	4,9	26,6	61,4	1,6	26,0
Jemný 4001	95,3	-0,4	2,0	91,7	-0,2	2,1	86,3	0,6	3,5	80,2	-2,7	4,0
Jemný 1502	69,3	18,1	31,1	64,7	18,3	29,8	53,4	21,5	28,7	51,1	20,4	26,5
Jemný 1320	80,3	9,7	47,3	78,1	9,7	45,9	72,7	13,2	43,6	66,5	9,4	38,9
Jemný 3500	89,0	-0,7	-0,7	75,3	-0,8	-1,9	52,1	-1,3	-3,0	66,3	-3,7	-0,3
Jemný 2001	95,7	-0,5	2,0	93,0	-0,6	2,1	86,4	-0,3	3,3	80,4	-2,9	3,1
Jemný 5000	89,8	-0,7	-0,7	75,5	-0,8	-2,0	52,8	-1,4	-2,9	66,9	-3,6	-0,2
Jemný 1542	52,6	37,4	13,8	49,5	36,1	14,0	42,6	33,9	17,8	38,0	38,4	17,3

**Příloha 7: Výsledky a grafy polárních souřadnic testu barvocitu
Munsell 100 Hue test**

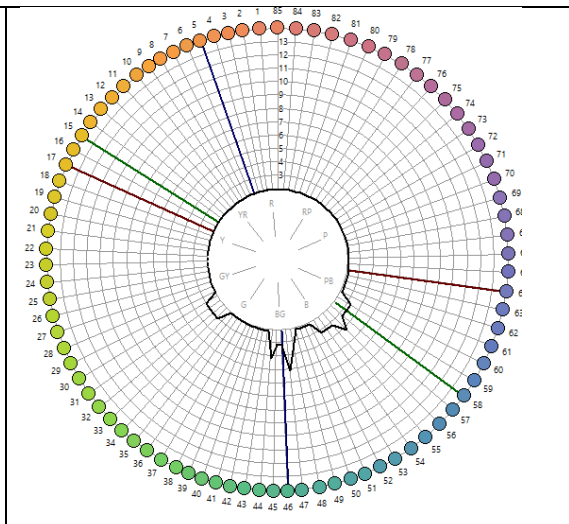
Tabulka 30. Výsledky a grafy polárních souřadnic testu barvocitu Munsell 100 Hue test



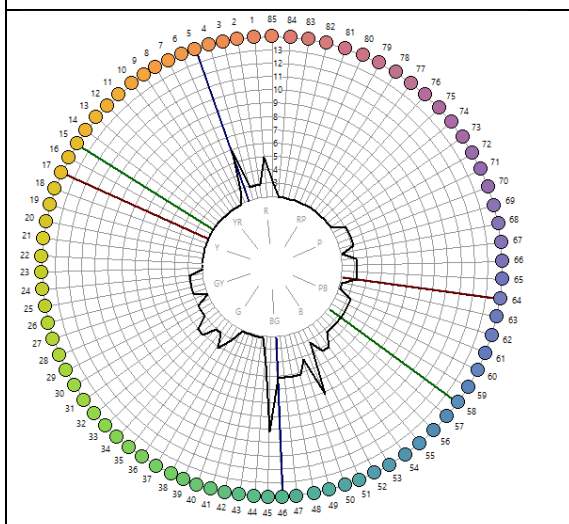




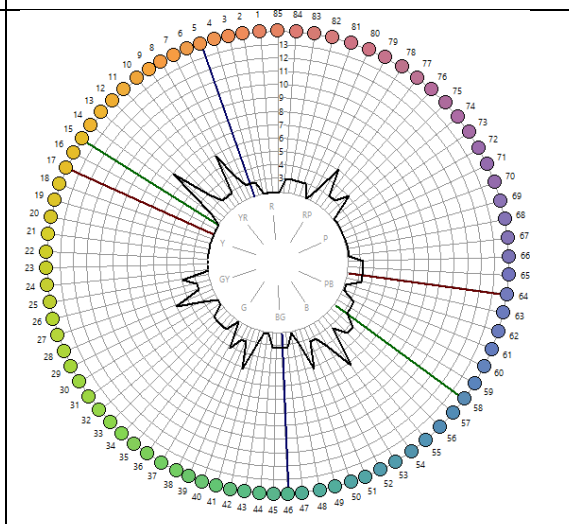
Respondent 13, kategorie superior (TES 16)



Respondent 14, kategorie average (TES 20)



Respondent 15, kategorie average (TES 76)



Respondent 16, kategorie average (TES 80)



Příloha 8: Výsledky vizuálního hodnocení vzorků

Tabulka 31. Výsledky vizuálního hodnocení vzorků v úhlech naklopení vzorku v horizontální rovině 10°, 20°, 30°, 40°

označení vzorku	Úhel naklopení v horizontální ose 10°			Úhel naklopení v horizontální ose 20°		
	robustní průměr	směrodatná odchylka	vnímaná barevná odchylka dV	robustní průměr	směrodatná odchylka	vnímaná barevná odchylka dV
TEXTILNÍ						
Tibet 1	4,11	0,87	1,05	2,79	0,88	3,54
Tibet 2	4,04	0,67	1,14	2,64	1,21	3,94
Tibet 3	3,96	0,89	1,24	2,96	1,07	3,08
Apollo 1	3,96	0,99	1,24	2,86	0,84	3,35
Apollo 2	3,93	0,60	1,29	3,57	0,61	1,84
Apollo 3	3,86	0,67	1,38	2,89	0,85	3,26
Topas 1	4,11	0,95	1,05	3,54	1,05	1,90
Topas 2	4,29	0,92	0,84	3,43	0,94	2,09
Topas 3	4,07	0,85	1,10	2,96	1,05	3,08
STRUKTURNÍ						
D393 barevný	4,32	0,66	0,80	3,43	0,93	2,09
3500	3,21	0,81	2,52	2,18	0,83	5,51
4001	4,36	0,55	0,76	3,32	1,00	2,30
1320	4,25	0,75	0,88	3,14	0,82	2,67
9355	4,25	0,73	0,88	3,57	1,20	1,84
E001	4,18	1,10	0,96	3,18	0,97	2,59
D393 jednobarevný	4,29	0,50	0,84	3,64	0,83	1,72
9350	3,04	1,00	2,90	1,79	0,70	7,21
JEMNÉ						
5000	3,29	0,75	2,36	1,79	0,56	7,21
3500	3,43	0,81	2,09	1,79	0,47	7,21
2001	3,79	1,09	1,49	2,86	1,13	3,35
2000	3,07	0,82	2,83	1,64	0,39	7,93
E001	4,61	0,66	0,51	2,64	0,88	3,94
1700	2,82	0,68	3,44	1,61	0,46	8,12
4001	4,14	0,75	1,01	2,54	0,75	4,27
1542	3,11	0,80	2,75	1,64	0,61	7,93
1502	2,86	0,71	3,35	1,46	0,45	8,92
1320	3,29	0,77	2,37	2,18	0,61	5,51

označení vzorku	Úhel naklonění v horizontální ose 30°			Úhel naklonění v horizontální ose 40°		
	robustní průměr	směrodatná odchylka	vnímaná barevná odchylka dV	robustní průměr	směrodatná odchylka	vnímaná barevná odchylka dV
TEXTILNÍ						
Tibet 1	2,04	0,87	6,08	3,11	0,96	2,75
Tibet 2	2,18	1,05	5,51	3,04	1,01	2,91
Tibet 3	2,43	0,99	4,61	2,96	1,00	3,08
Apollo 1	2,61	1,14	4,05	3,04	1,15	2,91
Apollo 2	3,25	0,83	2,44	3,82	1,06	1,44
Apollo 3	2,46	0,94	4,49	3,11	0,97	2,75
Topas 1	3,21	1,04	2,51	3,89	0,81	1,34
Topas 2	3,25	0,98	2,44	3,86	0,85	1,39
Topas 3	3,14	0,99	2,67	3,79	0,83	1,49
STRUKTURNÍ						
D393 barevný	3,00	1,12	2,99	3,39	0,80	2,16
3500	1,78	0,93	7,24	2,43	1,05	4,61
4001	3,04	0,95	2,91	3,14	0,84	2,67
1320	2,61	0,96	4,05	3,04	0,86	2,91
9355	3,64	0,94	1,72	3,71	0,72	1,60
E001	2,43	1,04	4,61	3,21	1,01	2,51
D393 jednobarevný	3,09	0,76	2,78	3,46	0,53	2,03
9350	1,86	0,48	6,87	2,75	0,81	3,64
JEMNÉ						
5000	1,31	0,62	9,89	2,61	1,25	4,05
3500	1,29	0,52	10,03	2,54	1,00	4,27
2001	2,43	1,01	4,61	3,64	1,00	1,72
2000	1,29	0,54	10,03	2,36	0,70	4,85
E001	2,25	1,03	5,24	3,75	0,88	1,55
1700	1,50	0,48	8,72	2,36	0,71	4,85
4001	2,11	1,00	5,79	3,75	1,00	1,55
1542	1,46	0,41	8,92	2,25	0,68	5,24
1502	1,04	0,26	11,77	1,86	0,62	6,87
1320	1,82	0,61	7,04	2,46	0,94	4,49



Příloha 9: Hodnoty dE diferenčních rovnic CIE2000 AUDI2000
v originálním nastavení rovnic a navrženém nastavení rovnic.

Tabulka 32. Hodnoty dE diferenčních rovnic CIE2000 a AUDI2000 v originálním nastavení rovnic a navržené nastavení rovnic textilních vzorků

Vzorek	Úhel naklonění v horizontální ose	CIE2000		AUDI2000		
		Originální nastavení	Optimalizované k_L, k_C, k_H	Originální nastavení	Optimalizované k_L, k_C, k_H	Optimalizované $k_L, k_C, k_H; S_L, S_C, S_H$
Tibet 1	10°	1,39	0,70	2,20	0,91	0,74
	20°	6,31	3,15	8,26	3,78	3,48
	30°	18,99	9,40	20,83	10,42	10,17
	40°	6,81	3,39	11,03	5,08	4,61
Tibet 2	10°	2,19	1,09	3,14	1,29	1,18
	20°	7,86	3,93	9,52	4,10	3,88
	30°	13,43	6,71	15,92	6,92	6,59
	40°	6,71	3,35	11,01	4,73	4,38
Tibet 3	10°	1,62	0,81	2,64	1,17	1,04
	20°	5,89	2,93	8,41	4,01	3,81
	30°	8,46	4,20	12,68	6,25	6,04
	40°	5,52	2,74	10,16	4,95	4,67
Apollo 1	10°	1,65	0,82	3,14	1,48	1,42
	20°	5,13	2,55	8,42	3,92	3,83
	30°	6,94	3,46	12,02	5,64	5,48
	40°	4,81	2,40	10,21	4,80	4,59
Apollo 2	10°	1,99	1,01	3,44	1,44	1,11
	20°	7,64	3,85	10,32	4,49	3,74
	30°	12,80	6,43	16,29	7,34	6,40
	40°	7,81	3,94	13,39	5,87	4,84
Apollo 3	10°	1,64	0,83	2,87	1,32	1,12
	20°	7,31	3,65	9,62	4,59	4,33
	30°	21,13	10,51	22,15	10,62	10,16
	40°	7,09	3,54	12,02	5,70	5,22
Topas 1	10°	0,39	0,19	1,11	0,48	0,44
	20°	2,82	1,41	5,94	2,53	2,39
	30°	7,16	3,60	12,78	5,31	4,91
	40°	2,14	1,10	5,93	2,50	2,15
Topas 2	10°	0,97	0,49	2,23	0,94	0,85
	20°	3,59	1,80	6,85	2,93	2,79
	30°	7,34	3,70	12,79	5,31	4,86
	40°	3,49	1,77	8,35	3,51	3,15
Topas 3	10°	1,02	0,51	2,22	0,91	0,86
	20°	4,03	2,03	7,39	3,09	2,87
	30°	7,22	3,62	12,43	5,18	4,89
	40°	3,42	1,72	8,03	3,31	3,06
r		0,80	0,80	0,78	0,81	0,84
STRESS		37,26	37,26	31,20	30,39	28,63
CV		47,09	47,00	35,76	35,34	33,57

Tabulka 33. Hodnoty dE diferenčních rovnic CIE2000 a AUDI2000 v originálním nastavení rovnic a navržené nastavení rovnic strukturních vzorků

Vzorek	Úhel naklonění v horizontální ose	CIE2000		AUDI2000		
		Originální nastavení	Optimalizované k_L, k_C, k_H	Originální nastavení	Optimalizované k_L, k_C, k_H	Optimalizované $k_L, k_C, k_H; S_L, S_C, S_H$
D393 Vzor	10°	0,95	0,75	2,24	1,01	0,74
	20°	3,71	3,09	7,35	3,56	2,83
	30°	6,18	5,05	11,76	5,68	4,56
	40°	3,68	4,37	9,47	4,86	4,08
3500	10°	5,22	2,09	5,36	2,15	1,67
	20°	18,67	7,49	15,52	6,23	6,52
	30°	24,55	9,91	22,51	9,07	9,17
	40°	18,89	7,56	21,71	8,68	6,83
4001	10°	1,45	0,78	3,07	1,24	0,87
	20°	5,67	3,45	9,81	4,19	3,37
	30°	8,38	5,43	14,84	6,49	5,25
	40°	5,50	4,21	12,66	5,51	4,30
1320	10°	1,50	1,47	2,78	1,50	1,22
	20°	5,85	5,17	9,14	4,86	4,03
	30°	7,71	6,99	12,43	6,46	5,29
	40°	4,69	5,66	9,69	5,29	4,49
9355	10°	1,59	0,67	2,45	0,98	0,51
	20°	8,32	3,47	9,40	3,80	2,52
	30°	12,39	5,12	14,23	5,76	3,80
	40°	11,16	4,75	14,87	6,06	3,62
E001	10°	0,23	0,19	0,77	0,34	0,21
	20°	0,19	0,35	0,70	0,40	0,37
	30°	0,50	1,02	1,71	1,11	1,04
	40°	1,72	0,86	4,86	1,99	0,98
D393 Vzor	10°	0,42	0,42	1,28	0,58	0,44
	20°	1,64	1,49	4,36	1,95	1,49
	30°	4,51	3,53	9,84	4,40	3,37
	40°	1,98	2,82	6,42	3,09	2,80
9350	10°	4,76	2,09	5,45	2,24	1,62
	20°	20,82	9,10	15,98	6,94	6,28
	30°	30,40	13,31	23,23	10,26	9,08
	40°	24,46	10,86	23,44	10,08	7,68
r		0,79	0,79	0,71	0,71	0,80
STRESS		45,72	37,82	41,47	40,58	35,48
CV		66,15	48,30	50,53	48,70	43,81

Tabulka 34. Hodnoty dE diferenčních rovnic CIE2000 a AUDI2000 v originálním nastavení rovnic a navržené nastavení rovnic vzorků s jemným homogenním povrchem

Vzorek	Úhel naklonění v horizontální ose	CIE2000		AUDI2000		
		Originální nastavení	Optimalizované k_L, k_C, k_H	Originální nastavení	Optimalizované k_L, k_C, k_H	Optimalizované $k_L, k_C, k_H; S_L, S_C, S_H$
5000	10°	7,07	1,77	7,50	2,57	2,33
	20°	51,15	9,34	23,30	6,76	9,22
	30°	65,83	12,76	35,45	11,12	14,51
	40°	55,26	10,05	35,17	10,05	10,23
3500	10°	8,01	1,71	7,88	2,52	2,33
	20°	54,61	10,08	24,29	7,17	9,92
	30°	67,05	13,07	35,60	11,25	14,73
	40°	57,52	10,49	35,94	10,32	10,70
2001	10°	2,07	0,95	3,83	1,49	1,24
	20°	11,65	3,85	14,42	5,16	4,59
	30°	18,83	5,18	22,35	7,56	6,78
	40°	11,85	4,07	20,04	6,71	5,26
2000	10°	11,03	2,05	8,54	2,52	2,48
	20°	44,70	8,18	22,67	6,52	8,54
	30°	54,96	10,22	33,27	9,74	12,26
	40°	46,28	8,43	33,49	9,59	9,29
E001	10°	0,73	0,51	1,97	0,81	0,70
	20°	5,37	3,09	10,93	4,06	3,55
	30°	18,17	5,31	23,83	7,72	6,89
	40°	5,06	3,50	13,54	4,84	4,19
1700	10°	11,17	4,47	9,62	3,85	3,86
	20°	51,88	12,84	24,83	9,13	11,01
	30°	60,52	14,00	34,52	12,11	14,15
	40°	53,56	12,47	36,18	12,76	12,77
4001	10°	1,06	0,71	2,74	1,02	0,87
	20°	9,02	3,63	13,44	4,82	4,20
	30°	17,45	5,42	23,25	7,67	6,78
	40°	9,61	4,32	18,65	6,50	5,29
1542	10°	4,33	2,98	6,23	2,91	2,70
	20°	26,11	9,51	20,69	8,06	8,33
	30°	51,17	12,23	32,94	11,16	12,08
	40°	26,80	9,68	29,30	11,29	10,40
1502	10°	8,32	3,13	9,59	3,29	3,11
	20°	43,86	12,66	36,45	12,18	12,88
	30°	65,95	18,42	44,77	14,90	16,32
	40°	44,08	13,01	43,61	14,11	13,47
1320	10°	4,79	1,62	5,89	1,89	1,58
	20°	21,70	7,28	23,04	7,55	7,25
	30°	31,03	9,96	32,82	10,60	10,25
	40°	22,38	7,95	28,35	9,13	7,91
r		0,84	0,88	0,77	0,78	0,88
STRESS		33,5	24,89	31,85	31,35	23,91
CV		42,1	29,31	36,16	35,3	27,61